

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI/2022/2

- 4 / Využití monitoringu viru SARS-CoV-2 v odpadních vodách z ČOV různých kategorií pro sledování vývoje epidemické situace v ČR
- 10 / Detekcia výmoľovej erózie metódou globálnych navigačných satelitných systémov v lokalite Myjava — Turá Lúka
- 50 / Rozhovor s Ing. Bc. Annou Hubáčkovou, ministryní životního prostředí

Den Země

V pátek 22. dubna si celá planeta již tradičně připomene Den Země (Earth Day). Historie tohoto mezinárodního ekologického svátku sahá do Spojených států amerických na počátek roku 1969, kdy pobřeží Kalifornie pustošila obrovská ropná skvrna. Senátor Gaylord Nelson z Wisconsinu byl stavem životního prostředí v USA velmi znepokojen a spolu s aktivistou Johnem McConnelem navrhli na konferenci UNESCO v San Francisku, aby byl stanoven den, který bude věnován Zemi. Tento den byl později potvrzen v prohlášení, které sepsal McConnell a podepsal jej generální tajemník OSN U Thant.

Rok poté, 22. dubna 1970, proběhla v USA celonárodní environmentální vzdělávací akce. Jako národní koordinátor byl stanoven mladý aktivista Denis Hayes. Nelson s Hayesem se shodli na tom, že se akce bude nazývat Den Země, aby se zvýšilo povědomí veřejnosti o zhoršujícím se životním prostředí. Tento první Den Země inspiroval 20 milionů Američanů – v té době 10 procent z jejich celkové populace – vydat se do ulic a demonstrovat proti dopadům 150letého průmyslového rozvoje. Tisíce vysokých škol a univerzit

organizovaly protesty proti zhoršování životního prostředí a ve městech a obcích od pobřeží k pobřeží se konala masivní shromáždění. Demonstrace byly součástí kampaně, jež měla za cíl prosadit zákony o ochraně životního prostředí. Nelson později za svoji práci dostal Prezidentskou medaili svobody od Billa Clintona.

Záhy se k Američanům přidávaly i ostatní státy a po roce 1990 se připojil prakticky celý zbytek světa včetně České republiky. 22. duben se tak stal mezinárodním svátkem. V současnosti slaví Den Země více než miliarda lidí ve 193 státech světa – jde tedy o největší sekulární svátek, do kterého jsou zapojeni lidé společně bez ohledu na původ, víru či národnost.

Mgr. Zuzana Řehořová
Odborná redaktorka VTEI



Obsah



- 3 Úvod**
- 4 Využití monitoringu viru SARS-CoV-2 v odpadních vodách z ČOV různých kategorií pro sledování vývoje epidemické situace v ČR**
Hana Zvěřinová Mlejnková, Lucia Gharwalová, Kateřina Sovová, Petra Vašíčková, Jakub Hrdý, Magdaléna Krásna, Věra Očenášková, Vladimír Bencko, Milan Tuček, Milena Bušová, Eva Juranová
- 10 Detekcia výmoľovej erózie metódou globálnych navigačných satelitných systémov v lokalite Myjava – Turá Lúka**
Michaela Danáčová, Milica Aleksić, Matúš Tomaščík, Anna Liová, Roman Výleta
- 17 Změny srážek a odtoků na povodích v ČR v období intenzivního oteplování**
Ladislav Kašpárek, Roman Kožín
- 29 Výskyt pesticidních látek v řece Punkvě**
Tatána Halešová, Jana Konečná, Marta Václavíková, Petr Karásek, Eva Nováková
- 34 Sledování změn ve vývoji krajiny na severovýchodním okraji Hřebenů se zaměřením na mokřady**
Pavel Richter, Renáta Sztymonová
- 43 Porovnání hydrologických charakteristik M-denních průtoků referenčního období 1981–2010 a uvažovaného referenčního období 1991–2020**
Pavel Kukla

48 Autoři

- 50 Rozhovor s Ing. Bc. Annou Hubáčkovou, ministryní životního prostředí**
Josef Nistler



- 52 Bilanční hodnocení vybraných ukazatelů kvality vody na přítocích do vodní nádrže Vranov**
Petra Oppeltová, Ondřej Ulrich, Jana Svobodová Navrátilová
- 56 Projekt AdaptaN II aneb od slov k činům**
Pavla Štěpánková, Karel Drbal



Vážení čtenáři,

podobně jako já určitě vnímáte, že vývoj počasí, které nás teď doprovází, nám stále nedává jistotu, jaký rok nás z pohledu hydrologického čeká. Na začátku a vlastně i v průběhu zimy to vypadalo, že by mohlo nastat relativně průměrné období, po novém roce však už někteří farmáři na Vysočině začali naznačovat, že by se mohlo vrátit sucho. A najednou na začátku března opět přišel mráz a začal padat sníh. Lze tedy jen těžko odhadnout další vývoj, ale dá se reálně očekávat, že se bude blížit spíše k průměru, především pokud začneme pro srovnávání používat nové referenční období 1991–2020, které již zahrnuje ono šestileté období sucha. Nezbyvá nám tedy než čekat na rozhodující měsíce duben a květen. Mimochodem, o srovnání dvou referenčních období se dozvíte v článku v tomto čísle VTEI. Najdete zde také informace o covidu-19, který je již sice na ústupu, přesto je však téměř povinností o jeho stavu neustále informovat a monitoring SARS-CoV-2 v odpadních vodách je ideální způsob zjišťování jeho rozšíření v populaci včetně scénářů jeho dalšího vývoje. Dozvíte se i novinky z výzkumu týkajícího se populárních témat, jakými jsou klimatická změna, eroze nebo pesticidy, a nebude chybět ani článek týkající se kvality vody. Na konec výčtu příspěvků jsem si však nechal zlatý hřeb nejen tohoto čísla, ale určitě i celého ročníku, a tím je rozhovor s paní ministryní životního prostředí Annou Hubáčkovou.

Právě v dnešních dnech, kdy ruská armáda ostřeluje jaderné elektrárny na Ukrajině, se však může snadno stát, že všechna témata, jež v souvislosti s kvalitou životního prostředí a komfortem našich životů řešíme, mohou být únikem radioaktivity nebo jiným druhem znečištění v okamžiku zcela zmařena. Je to drsné připomenutí, že naše životní prostředí nekončí na našich hranicích a nejen klimatická změna, ale i dění ve vzdálenějších lokacích naše životy ovlivňují. Měli bychom tedy vyvinout veškeré úsilí, abychom všechna ohrožení aktivně pomáhali minimalizovat, a nemuseli tak sobě, ale ani našim potomkům vysvětlovat, proč jsme nic neudělali.



Ing. Tomáš Urban
ředitel VÚV TGM, v. v. i.

Využití monitoringu viru SARS-CoV-2 v odpadních vodách z ČOV různých kategorií pro sledování vývoje epidemické situace v ČR

HANA ZVĚŘINOVÁ MLEJNKOVÁ, LUCIA GHARWALOVÁ, KATEŘINA SOVOVÁ, PETRA VAŠÍČKOVÁ, JAKUB HRDÝ, MAGDALÉNA KRÁSNA, VĚRA OČENÁŠKOVÁ, VLADIMÍR BENCKO, MILAN TUČEK, MILENA BUŠOVÁ, EVA JURANOVÁ

Klíčová slova: monitoring odpadních vod – SARS-CoV-2 – RT-qPCR – ČOV – epidemiologická data

SOUHRN

Princip diagnostiky odpadních vod je vhodným doplňkovým přístupem, který může pomoci neinvazivním způsobem získat epidemiologické informace o velké části populace. Průběh pandemického rozšíření nového koronaviru (SARS-CoV-2) vykazuje od roku 2020 cyklický průběh po sobě následujících vln šíření onemocnění covid-19. Pro tento model se jako velmi efektivní přístup nabízí systematická detekce výskytu jejího původce v odpadních vodách.

V rámci studie jsme provedli v období od dubna 2020 do ledna 2022 monitoring koronaviru SARS-CoV-2 v odpadních vodách z vybraných čistíren odpadních vod (ČOV) v ČR. Současné poznatky a závěry probíhajících studií jednoznačně ukázaly, že monitoring odpadních vod může být při jeho cíleném a systematickém provádění vhodným doplňkem pro formulaci epidemiologických prognóz, návrhy opatření, a tím ochranu veřejného zdraví. Naše výsledky navíc prokázaly, že k epidemiologické diagnostice odpadních vod jsou vhodné ČOV všech kategorií. Při systematickém epidemiologickém přístupu k odpadním vodám (z angl. „Wastewater-Based Epidemiology“; WBE) však bude nutné důsledně akceptovat rozdíly mezi typy a účely prováděného monitoringu, charakterem odpadních vod a specifiky odběrových míst.

ÚVOD

Odpadní vody jsou recipientem všech odpadních látek a metabolických produktů vylučovaných člověkem. Za předpokladu, že nedošlo k jejich rozkladu, jsou v nich při použití vhodných metod tyto látky detekovatelné. Platí to i pro patogenní agens a jiné specifické markery, jejichž detekce v odpadních vodách je jedním z cílů diagnostiky odpadních vod. Účelem je získání informací o studované populaci nebo konkrétní komunitě. Tento alternativní přístup, využívající odpadní vody jako skupinové diagnostické médium, aktuálně pomáhá k eradikaci dětské obrny (poliomyelitidy). Tato infekční choroba byla na některých kontinentech eliminována, stále je však potřeba pokračovat v celosvětovém očkování. V ČR byla dětská obrna zcela eradikována v roce 1961 [1]. V současné době probíhá podle pokynů WHO v rámci celosvětového programu polioeradikace vyšetřování výskytu poliovirů v odpadních vodách v osmi městech a utečeneckých táborech v ČR [2]. V nemedicínských oborech jsou odpadní vody využívány ke stanovení markerů životního stylu (např. drogy

a jiné návykové látky, výrobky osobní péče, léčiva apod.), a to globálně, nebo v problémových lokalitách.

Krátce po propuknutí pandemie covid-19 se ukázalo, že vznik ohnisek nákazy není možné dostatečně efektivně sledovat pomocí současných epidemiologických přístupů, kdy jsou infikovaní jedinci identifikováni na základě klinických projevů. Průběh pandemického rozšíření koronaviru SARS-CoV-2 vykazuje od roku 2020 cyklický průběh po sobě následujících vln šíření nemoci covid-19. Pro zavádění účinných opatření v boji s epidemií je vhodné využít epidemiologický přístup k WBE. V České republice se aktuálně nachází 3 166 ČOV, čímž je možné podchytit situaci pro cca 80 % jejich obyvatel [3].

U vzorků prostředí, jako jsou i odpadní vody, existuje předpoklad výskytu sledovaných agens i ve velmi nízkých koncentracích. Proto je vhodné k vlastní analýze použít větší množství vzorku a před izolací nukleových kyselin provést krok, který umožní zakonzentrování daných agens, v našem případě virů. Tento postup však může být zdrojem zvýšené chybovosti, proto musí být každý krok analýzy přísně kontrolován.

METODIKA

Odběry vzorků odpadních vod z ČOV probíhaly od dubna 2020 a jsou plánovány do dubna 2022. Vzorky byly odebírány z 66 ČOV různých velikostí v různém časovém režimu. V této práci prezentujeme výsledky osmi vybraných ČOV s odlišným počtem napojených obyvatel (NO) za období duben 2020 až leden 2022: Buchlovice (2 340 NO); Slavkov u Brna (6 500 NO); Tišnov (11 500 NO); Přerov (41 000 NO); Kladno (80 000 NO); Brno (cca 426 000 NO) a ÚČOV Praha NVL (nová vodní linka) a SVL (stávající vodní linka), obě cca 600 000 NO.

V počátečních fázích byly využívány různé způsoby odběru vzorků podle aktuálních možností. Postupně byl odběr optimalizován tak, aby byly zajištěny co nejreprezentativnější vzorky. Byly provedeny časové experimenty, kdy se odebírala série 24 směsných hodinových vzorků (slévané čtyři objemově shodné vzorky odebírané po 15 min) získaných během 24 hodin na ČOV Brno. Ve vzorcích byly kromě RNA SARS-CoV-2 stanovovány vybrané chemické a fyzikálně-chemické ukazatele (CHSK-Cr, N-NH₄, o-PO₄, nerozpuštěné látky sušené, fekální koliformní bakterie a enterokoky). Tyto experimenty ukázaly, že nejkoncentrovanější odpadní voda je na ČOV mezi 5. a 23. hodinou. Na základě

tohoto zjištění bylo odzkoušeno vzorkování odpadní vody v kratších intervalech (15 min) v uvedeném časovém rozmezí a porovnáno s běžným 24hodinovým odběrem [4].

V současné etapě vzorkování byly pomocí automatických vzorkovačů odebrány směsné 24hodinové vzorky nečistěných odpadních vod za hrubým mechanickým předčištěním (česle). Odebrané vzorky byly uchovávány chlazené a zpracovány do 48 hodin po odběru nebo zamrazeny na -70°C .

Detekce viru SARS-CoV-2 v odpadních vodách

Ve spolupráci výzkumných laboratoří VÚVeL Brno a VÚV TGM byl vypracován metodický postup analýzy odpadních vod, který zahrnuje přesně definovaný systém kontrolních bodů tak, aby byla zajištěna řádná a validní analýza jednoho každého vzorku. Tyto body zahrnují:

1. Kontrolu odběru vzorků odpadních vod včetně jejich transportu při vhodných podmínkách (ideálně: chlazené na $3 \pm 2^{\circ}\text{C}$, do 48 hodin) do analytických laboratoří.
2. Kontrolu úpravy odpadních vod, tzn. zakoncentrování virových částic z definovaného objemu vzorku a následující izolaci nukleových kyselin. Tato externí kontrola analýzy umožňuje také určit účinnost celého postupu, čímž je zaručena přesnější kvantifikace SARS-CoV-2, resp. jeho genomových ekvivalentů (GE) ve sledovaných vzorcích.
3. Kontrolu vlastního průběhu detekčního a kvantifikačního kroku SARS-CoV-2 (GE) ve sledovaných vzorcích s použitím reverzně transkripční polymerázové řetězové reakce v reálném čase (RT-qPCR).

Tento metodický postup, který byl schválen Ministerstvem zdravotnictví [5], spočívá v zakoncentrování 500 ml vzorku odpadní vody použitím polyetylen-glykolu (PEG) a chloridu sodného. K izolaci RNA je použita běžně komerčně dostupná souprava QIAamp Viral RNA Mini Kit (Qiagen, Německo), izolaci RNA je možno i plně automatizovat. Kvantitativní detekce RNA viru SARS-CoV-2 je prováděna metodou RT-qPCR cílenou na tři nezávislé detekční cíle v genomu viru (dva cíle genu N a oblast kódující nestrukturální protein nsp12). Citlivost (limit detekce) celého metodického postupu (tzn. od počátečního zakoncentrování vzorku odpadních vod až po vlastní kvantitativní stanovení GE SARS-CoV-2) je 2,5 virových částic (GE) v 1 ml odpadní vody, průměrná účinnost postupu je 36 %. Analýzy byly prováděny v laboratořích VÚVeL Brno a brněnského pracoviště VÚV TGM.

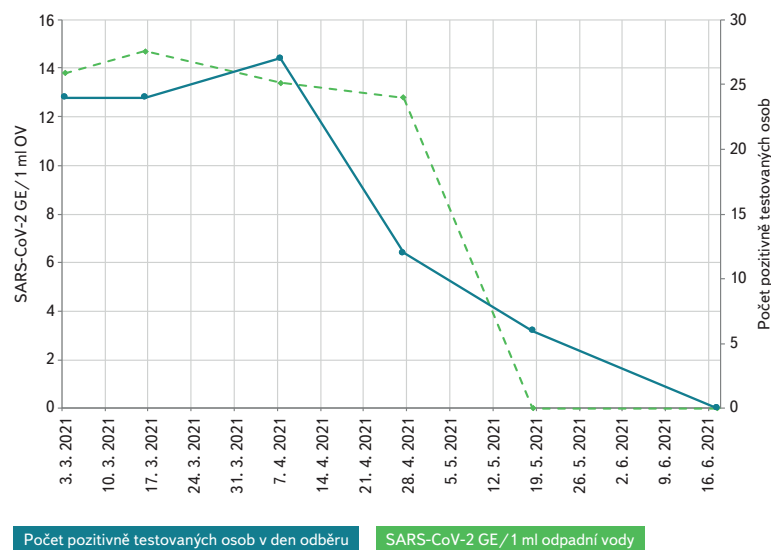
Vyhodnocení dat

Získaná data byla korelována s počty osob s pozitivním testem na SARS-CoV-2 v monitorovaných oblastech, tj. městech a obcích napojených na příslušné ČOV. Epidemiologická data byla získána z Oddělení biostatistiky SZÚ z celostátního Informačního systému infekčních nemocí (ISIN). Do hodnocení byly zahrnuty osoby 10 dnů před datem prvních příznaků do 3. dne po provedeném PCR testu, tj. 14denní interval. Pro předběžná hodnocení byla používána veřejná data získaná z covid map, jež čerpají údaje z otevřených datových sad Ministerstva zdravotnictví. Tato data jsou často zatížena chybou a neobsahují počty obyvatel v menších připojených obcích.

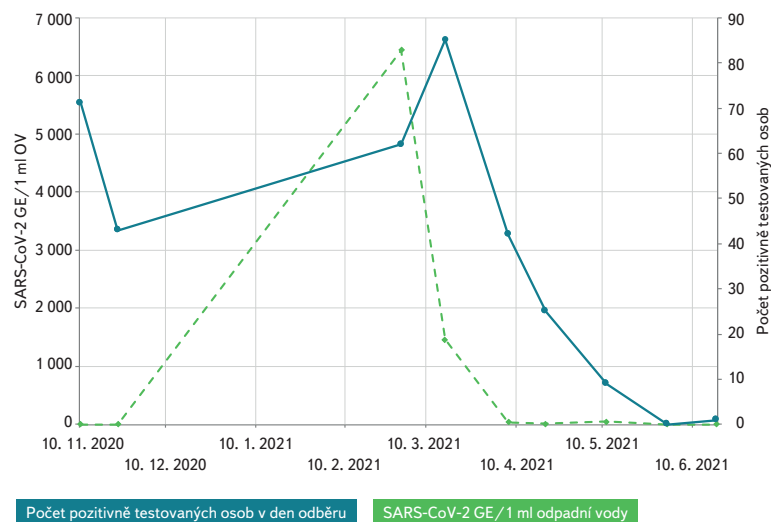
VÝSLEDKY A DISKUZE

V rámci studie bylo z celkově sledovaných 66 ČOV vybráno osm ČOV různých velikostních kategorií, od ČOV s 2 340 napojenými obyvateli (NO) po dvě vodní linky ústřední ČOV v Praze (ÚČOV) s více než 600 000 napojenými obyvateli. Tyto ČOV byly použity k hodnocení využitelnosti zvoleného přístupu pro predikci trendů výskytu onemocnění a zachycení možného nástupu epidemie. Vybrané ČOV se lišily také charakterem přiváděných odpadních vod. Srovnání množství GE viru SARS-CoV-2 v zamrazených vzorcích nečistěných odpadní vody a počtů pozitivně testovaných osob na jednotlivých ČOV jsou uvedeny na obr. 1 až 8.

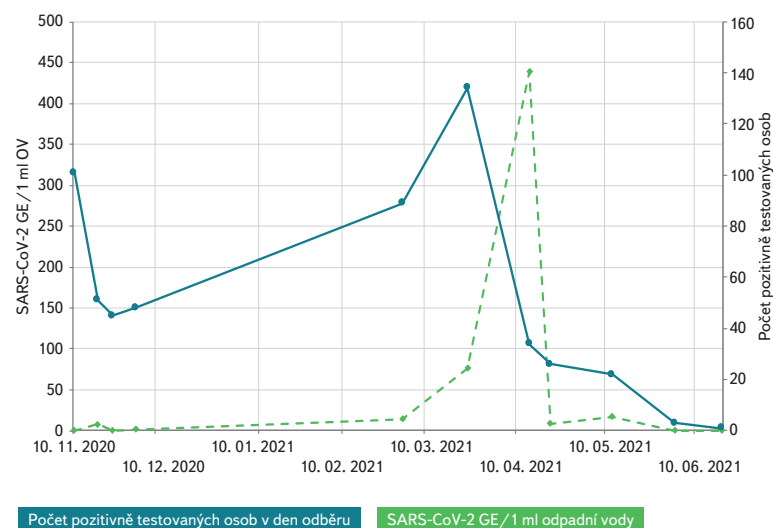
Nejmenší z hodnocených čistíren byla ČOV Buchlovice, na kterou je napojeno 2 340 obyvatel, kapacita odpovídá 2 756 ekvivalentním obyvatelům (EO). ČOV byla sledována na podzim roku 2020 a na jaře 2021. Přítok odpadní vody se pohyboval od 570 do 700 m³/den.



Obr. 1. Porovnání počtu pozitivně testovaných osob a množství GE SARS-CoV-2 v odpadní vodě z ČOV Buchlovice (2 340 napojených obyvatel)
Fig. 1. Comparison of numbers of positive tested persons and amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from Buchlovice WWTP (2 340 connected people)



Obr. 2. Porovnání počtů pozitivně testovaných osob a množství GE viru SARS-CoV-2 v odpadní vodě z ČOV Slavkov u Brna (6 500 napojených obyvatel)
Fig. 2. Comparison of numbers of positive tested persons and amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from Slavkov u Brna WWTP (6 500 connected people)



Obr. 3. Porovnání počtů pozitivně testovaných osob a množství GE viru SARS-CoV-2 v odpadní vodě z ČOV Tišnov (11 500 napojených obyvatel)
Fig. 3. Comparison of numbers of positive tested persons and amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from Tišnov WWTP (11 500 connected people)

Z kategorie do 10 000 EO byla sledována ČOV Slavkov u Brna, na niž je napojeno 6 500 obyvatel, kapacita odpovídá 9 451 EO. ČOV byla sledována na podzim roku 2020 a na jaře 2021. Přítok odpadní vody se pohyboval od 1 200 do 4 000 m³/den.

Z kategorie 10 000–100 000 EO byla sledována ČOV Tišnov, na kterou je napojeno 11 440 obyvatel, kapacita odpovídá 18 000 EO. ČOV byla sledována na podzim roku 2020 a na jaře 2021. Přítok odpadní vody se pohyboval od 2 400 do 5 100 m³/den.

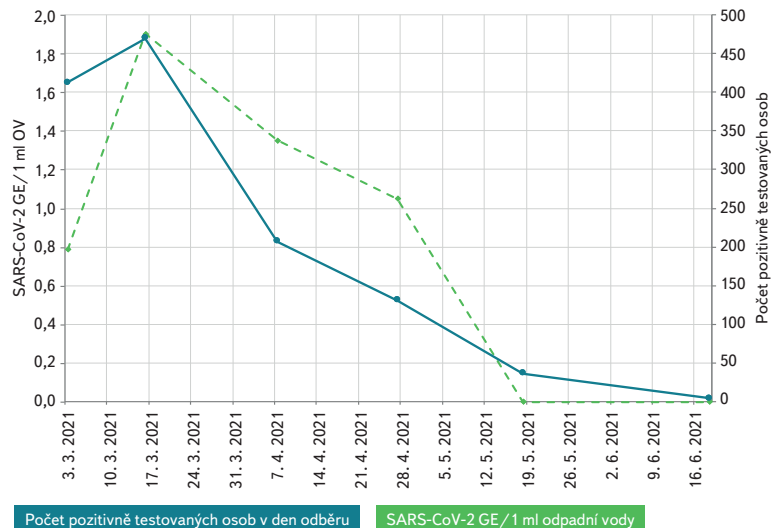
Další čistírna z kategorie 10 000–100 000 EO byla ČOV Přešov, na kterou je napojeno 41 440 obyvatel a její kapacita odpovídá 112 170 EO, byla sledována na podzim roku 2020 a na jaře 2021. Přítok odpadní vody se pohyboval od 9 980 do 16 700 m³/den.

Poslední vybraná čistírna z kategorie 10 000–100 000 EO byla sledována v Kladně-Vrapicích. Na tuto ČOV je napojeno 80 000 obyvatel, kapacita odpovídá 85 000 EO. Monitoring probíhal na podzim roku 2020 a od dubna 2021 do ledna 2022. Přítok odpadní vody se v tomto období pohyboval od 8 300 do 14 000 m³/den.

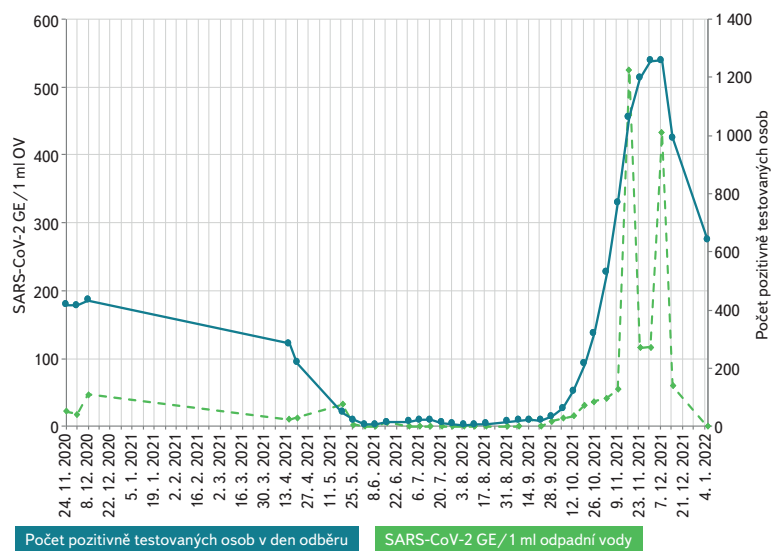
Větší ČOV, z kategorie nad 100 000 EO, reprezentovala ČOV Brno (Modřice). Na tuto ČOV je napojeno 426 500 obyvatel, kapacita odpovídá 640 000 EO. ČOV byla sledována od podzimu 2020 do ledna 2022. Přítok odpadní vody se ve sledovaném období pohyboval od 64 000 do 250 000 m³/den.

Mezi sledované čistírny byla zařazena také ÚČOV v Praze, tvořená dvěma vodními linkami – novou (NVL) a stávající (SVL). Na ÚČOV je napojeno celkem 1 297 000 obyvatel Prahy (1 746 500 EO), přičemž každá z obou vodních linek obsluhuje cca polovinu z nich. ÚČOV v Praze byla sledována na podzim roku 2020, na jaře 2021 a od srpna 2021 do ledna 2022. Přítok odpadní vody se pohyboval od 81 200 do 215 000 m³/den.

Průběžné výsledky studie uvedené v grafech ukazují na dobrou korelaci mezi množstvím virové RNA v odpadní vodě a počty pozitivně testovaných osob (pozitivní osoby v grafech jsou započteny od 10. dne před datem prvních příznaků do 3. dne po provedení testu). Kopírování trendu obou křivek je patrné u všech velikostních kategorií ČOV, přičemž hodnota spolehlivosti je až 0,9. Prezentované výsledky jsou postupně zpřesňovány doplňováním epidemiologických údajů a výsledků dalších zanalyzovaných zamražených vzorků. Údaje, jež jsou nyní k dispozici, sice neukazují přímou závislost mezi počty infikovaných osob a údaji o množství GE SARS-CoV-2 v odpadní vodě pro



Obr. 4. Porovnání počtů pozitivně testovaných osob a množství GE viru SARS-CoV-2 v odpadní vodě z ČOV Přešov (41 000 napojených obyvatel)
Fig. 4. Comparison of numbers of positive tested persons and amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from Přešov WWTP (41 000 connected people)

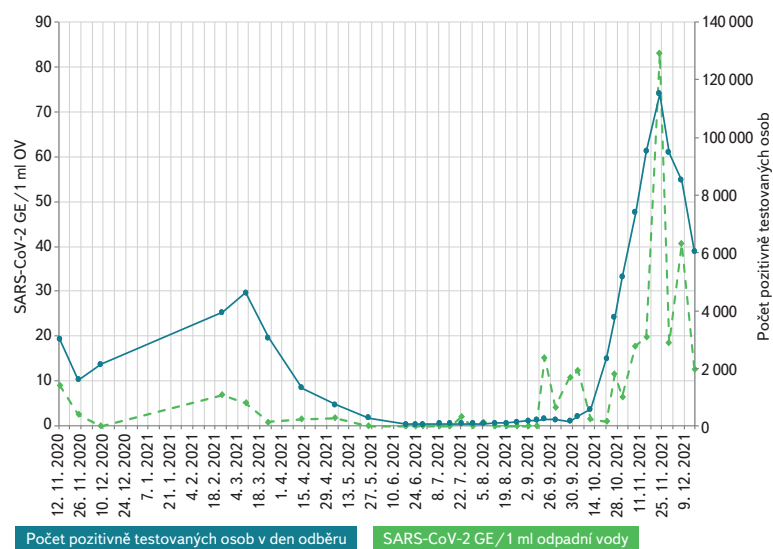


Obr. 5. Porovnání počtů pozitivně testovaných osob a množství GE viru SARS-CoV-2 v odpadní vodě z ČOV Kladno (80 000 napojených obyvatel)
Fig. 5. Comparison of numbers of positive tested persons and amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from Kladno WWTP (80 000 connected people)

jednotlivé ČOV, ale prokazatelně postihují trendy vývoje počtu pozitivně testovaných osob, a jsou tedy dobře využitelné pro odhad prevalence na základě porovnání s předchozími vlnami epidemie (obr. 1–8).

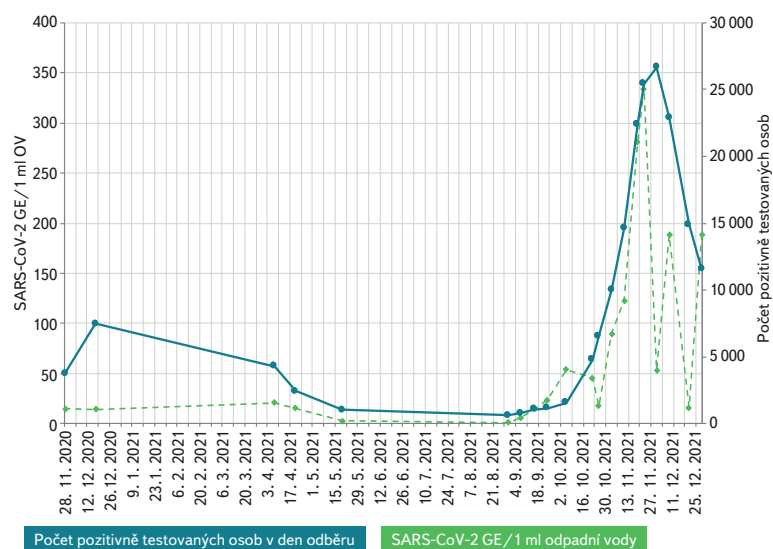
Citlivost metody je závislá na skupině faktorů, které ovlivňují charakter odpadní vody, tj.:

1. aktuální množství odpadní vody, jež ovlivní naředění virové RNA ve vzorku,
2. aktuální podíl průmyslových, dešťových a komunálních odpadních vod,
3. reprezentativnost a homogenita odebraného vzorku,
4. týdenní režim odběru vzorků (rozdíl v rámci pracovních dnů/víkendu),



Obr. 6. Porovnání počtů pozitivně testovaných osob a množství GE viru SARS-CoV-2 v odpadní vodě z ČOV Brno (626 000 napojených obyvatel)

Fig. 6. Comparison of numbers of positive tested persons and amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from Brno WWTP (626 000 connected people)

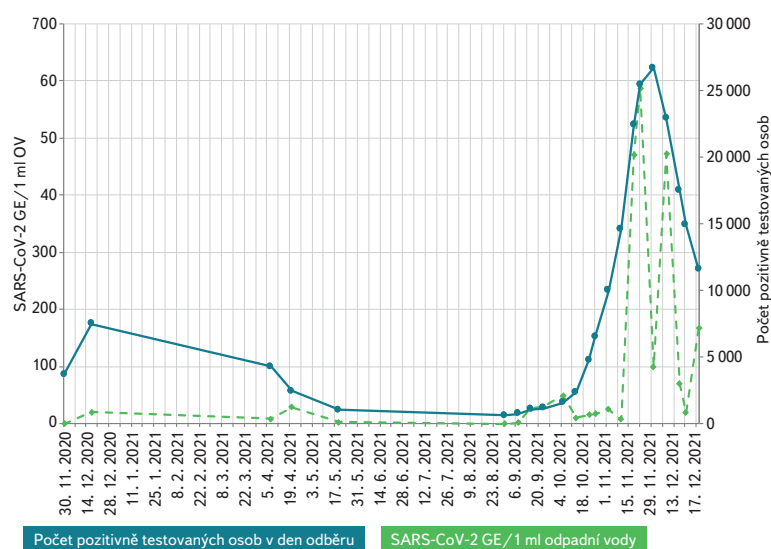


Obr. 7. Porovnání počtů pozitivně testovaných osob a množství GE viru SARS-CoV-2 v odpadní vodě z NVL ÚČOV Praha (cca 600 000 napojených obyvatel)

Fig. 7. Comparison of numbers of positive tested persons and amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from the new water line of Praha WWTP (about 600 000 connected people)

5. délka a větvení kanalizační sítě (degradace RNA před přítokem na ČOV včetně vlivu teploty a pH vody v kanalizaci) aj.

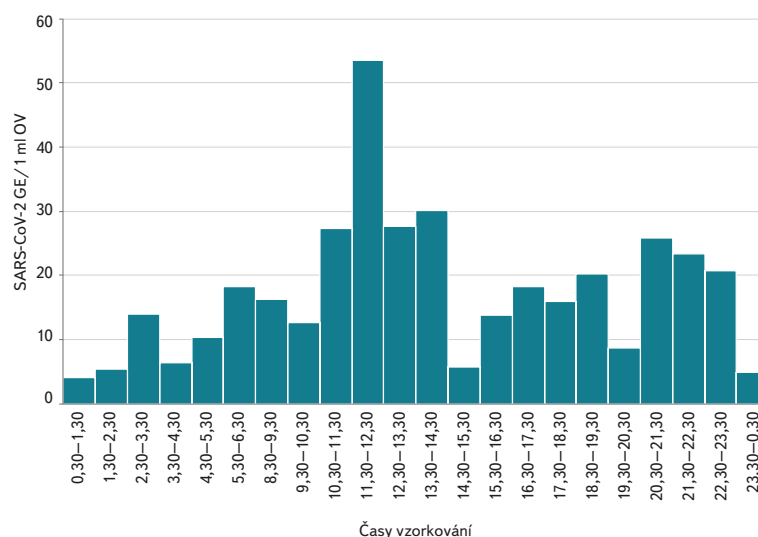
Vliv na korelaci obou skupin údajů má též robustnost epidemiologických dat, která jsou ovlivněna aktuálním epidemickým režimem. Ten určuje množství osob, jež jsou testovány, tj. četnost a způsob testování, mobilitu osob, množství prováděných testů atd. Dalším faktorem je dosud nedostatečně prozkoumaný údaj o podílu osob vylučujících viry trávícím nebo vylučovacím systémem a o příspěvku od bezpříznakových jedinců.



Obr. 8. Porovnání počtů pozitivně testovaných osob a množství GE viru SARS-CoV-2 v odpadní vodě z SVL ÚČOV Praha (cca 600 000 napojených obyvatel)

Fig. 8. Comparison of numbers of positive tested persons and amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from the current water line of Praha WWTP (about 600 000 connected people)

Často je velmi obtížné odhadnout množství viru v surových odpadních vodách kvůli nedostatku informací o hodinových, a dokonce sezonních změnách obsahu virových agens v odpadních vodách. Vzorkování sléváných hodinových vzorků z ČOV Brno, které bylo realizováno v říjnu 2021, ukázalo časové úseky, v nichž bylo v nátoky na ČOV detekováno největší množství virové RNA (obr. 9). Výsledky časového monitoringu RNA SARS-CoV-2 prokázaly možnost účelového použití zkráceného režimu vzorkování (např. mezi 5. a 23. hodinou), především je-li pro účely sekvenace potřebné získat vzorky s vyššími koncentracemi virové RNA. V případě, že není možné pro analýzu zajistit 24hodinové směsné vzorky a je nutno přistoupit k bodovému odběru, je preferován odběr v dobách, kdy je fekální zatížení nejvyšší.



Obr. 9. Porovnání množství GE SARS-CoV-2 v odpadní vodě z ČOV Brno v hodinových intervalech během 24 hodin (11. říjen 2021)

Fig. 9. Comparison of the amount of GE SARS-CoV-2 in wastewater from Brno WWTP at hourly intervals during 24 hours (11. October 2021)

Vysoká citlivost metody je patrná ze zjištění, že v odpadních vodách menších ČOV byl pozitivní nález virové RNA již pro jednotky až desítky osob zachycených klinickým PCR testováním (např. Buchlovice 12 osob; Slavkov 9 osob; Tišnov 3 osoby), u větších ČOV byly zachyceny desítky až stovky pozitivně testovaných osob (Brno 86 osob; Kladno 14 osob; Přerov 131 osob). V pražské ÚČOV, jež byla monitorována pouze v obdobích s vyšší prevalencí, byl zaznamenán pozitivní nález RNA pro > 600 osob. Výsledky odrážejí faktor naředení odpadních vod dešťovou či průmyslovou vodou, který je nutné zohlednit při správné interpretaci dat.

Výsledky studie odpovídají zjištěním výzkumníků v jiných zemích, kde se WBE monitoring SARS-CoV-2 aktivně rozvíjí s cílem rozšířit možnosti účinných opatření v boji proti šíření infekčních nemocí. Prioritně je monitoring ve světě cílen na velké ČOV [6]. V mnoha zemích jsou však sledovány i menší ČOV, městské části nebo jednotlivé budovy [7, 8].

V některých zemích je WBE přístup již aplikován v praxi, např. v USA na vysokých školách v Carolině se podařilo nalézt asymptomatické infikované studenty, kteří by jinak nebyli detekováni. V Nizozemsku zdravotníci používají údaje z odpadních vod k určení, kam poslat své mobilní testovací autobusy. V Austrálii, kde byl počet případů relativně nízký, pomohlo monitorování odpadních vod ujistit úřady, že jejich kontroly pandemie fungují [9].

Při zvažování potenciálních omezení WBE pro dohled nad přítomností SARS-CoV-2 ve studované populaci je důležité vzít v úvahu řadu proměnných, jež určují kvantitativní schopnost WBE stanovit vztah mezi hladinami virové RNA v odpadních vodách a výskytem infekce v populaci. Hlavním omezením pro odhad SARS-CoV-2 v komunitě využívající WBE je nedostatek spolehlivých dat o míře vylučování RNA viru stolici a močí do odpadních vod. U asymptomatických jedinců je míra vylučování virů typicky mnohem nižší než u symptomatických pacientů. Kromě toho existuje několik proměnných, které ovlivňují rychlost vylučování, včetně doby trvání infekce, úrovně virémie, věku pacienta vedle stadia a závažnosti onemocnění. Užitečnou se jeví kombinace s klinickými daty testování při rozhodování v oblasti veřejného zdravotnictví [10, 11].

Další úvahou o využití WBE pro populační sledování šíření SARS-CoV-2 jsou etické aspekty, neboť WBE neposkytuje data týkající se jedince. Aby bylo možné posoudit akutní stav promoření populace, sledují se ideálně menší subpopulace pro vymezení oblasti ohniska. To vyvolává určité etické otázky, protože tyto oblasti mohou podléhat změnám zavedeným místně příslušnými orgány veřejného zdravotnictví, což může vést ke stigmatizaci chování místní populace, např. zvýšenou aktivitu osob, jež nechťejí podstoupit očkování [10–12].

Interval spolehlivosti WBE závisí na nejnižší možné úrovni prevalence virové RNA, kterou lze detekovat v odpadních vodách. Tato hodnota je opět určena řadou proměnných, včetně struktury místní kanalizační sítě, velikosti oblasti odběru vzorků, vylučovacího profilu jednotlivců a metod kvantifikace virové RNA a modelů zpětného výpočtu [10, 11].

Dalším potenciálním omezením při zvažování možností WBE je schopnost veřejného zdravotnictví reagovat na zjištěná data. I když je detekce množství viru přesná, pokud nejsou data doručena orgánům veřejného zdravotnictví včas a nejsou včas využita, jsou neúčinná. Kromě toho mohou existovat oblasti, kde fekální profily SARS-CoV-2 mohou být detekovány konzistentně, proto je tyto oblasti třeba pečlivě sledovat kvůli náhlému zvýšení výskytu virové RNA v odpadních vodách [13–15]. Včasná detekce přítomnosti SARS-CoV-2 v komunitách může také poskytnout zdravotnickým orgánům čas připravit se na potenciální ohniska a zajistit, aby byly k dispozici v korelaci s mírou rizika přiměřené zásoby zdravotnického materiálu, včetně ventilátorů, lůžek na JIP i obsluhujícího personálu [16].

ZÁVĚR

Monitoring virů v odpadních vodách je jako nástroj včasného epidemického varování v současnosti využíván v mnoha zemích světa, v některých již systematicky na úrovni národních programů. ČR se na základě Doporučení Evropské komise na zavedení systematického monitoringu SARS-CoV-2 v odpadních vodách ze dne 17. března 2021 [17], které je závazné pro všechny členské země, zapojí do provádění monitoringu odpadních vod z ČOV ve městech nad 150 000 obyvatel.

Výsledky našeho výzkumu a závěry mnoha probíhajících studií jednoznačně ukazují, že diagnostika odpadních vod může být při jejím cíleném a systematickém provádění vhodným přístupem pro formulaci epidemiologických prognóz, a tím i ochranou veřejného zdraví. Monitoring odpadních vod je citlivou metodou, jež může být využita na ČOV o různých velikostech, a to již při nízké prevalenci nakažených ve spádové oblasti. V Praze byla prokázána funkčnost přístupu i pro menší městské oblasti a jednotlivé budovy (např. školy a domovy důchodců). Úpravou doby vzorkování jsme prokázali i možnost zvýšení výtěžnosti virové RNA ze vzorků odpadních vod. Pro zodpovědné provádění WBE monitoringu je třeba akceptovat rozdíly mezi typy a účely prováděného monitoringu, charakterem odpadních vod a specifiky odběrových míst.

Poděkování

Práce vznikla za podpory projektu V104000017 „Využití monitoringu odpadních vod jako nástroje včasného varování před vznikem epidemiologické situace“ programu 4. VS BV III a institucionálních prostředků MŽP. Autoři děkují provozovatelům ČOV za vstřícnou spolupráci při poskytování vzorků odpadní vody a Oddělení biostatistiky SZÚ za poskytnutá data k počtu nakažených osob ve sledovaných lokalitách.

Literatura

- [1] BENCKO, V., ŠIMA, P., BUŠOVÁ, M. Epidemie, pandemie: poučení z historie infekčních nemocí. *Hygiena*. 2021, 66(2), s. 48–54.
- [2] RAINETOVÁ, P., FITTLOVÁ, J. Vyšetřování odpadních vod na přítomnost poliovirů a ostatních enterovirů v ČR v roce 2013. *Zprávy Centra epidemiologie a mikrobiologie*. 2014, 23(2), s. 53–54. ISSN 1804-8668.
- [3] eAGRI. Voda – Vybrané údaje z majetkové evidence (VÚME) a provozní evidence (VÚPE) za rok 2019. 28. leden 2021. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/vodovody-a-kanalizace/vybrane-udaje-z-majetkove-a-provozni-evidence-vodovodu-a-kanalizaci/vybrane-udaje-majetkove-evidence-vume-a.html>
- [4] GHARWALOVÁ, L., JURANOVÁ, E., MLEJNKOVÁ, H., OČENÁŠKOVÁ, V., SOVOVÁ, K., VAŠÍČKOVÁ, P. Optimalizace způsobu odběru vzorků pro monitorování viru SARS-CoV-2 v odpadních vodách. *TZB-info*, 1. listopad 2021. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/23005-optimalizace-zpusobu-odberu-vzorku-pro-monitorovani-viru-sars-cov-2-v-odpadnich-vodach>
- [5] VAŠÍČKOVÁ, P., HRDÝ, J., KRÁSNA, M., SOVOVÁ, K., GHARWALOVÁ, L., MLEJNKOVÁ, H. *Metodický postup analýzy odpadních vod na přítomnost speciálních oblastí genomu viru SARS-CoV-2*. 2021. (Probíhá proces certifikace MZ).
- [6] BONANNO FERRARO, G., VENERI, C., MANCINI, P. et al. A State-of-the-Art Scoping Review on SARS-CoV-2 in Sewage Focusing on the Potential of Wastewater Surveillance for the Monitoring of the COVID-19 Pandemic. *Food and Environmental Virology*. 2021. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12560-021-09498-6>
- [7] HARRIS-LOVETT, S., NELSON, K. L., BEAMER, P., BISCHER, H. N., BIVINS, A., BRUDER, A., BUTLER, C., CAMENISCH, T. D., DE LONG, S. K., KARTHIKEYAN, S., LARSEN, D. A., MEIERDIERCKS, K., MOUSER, P. J., PAGSUYOIN, S., PRASEK, S. M., RADNIECKI, T. S., RAM, J. L., ROPER, D. K., SAFFORD, H., SHERCHAN, S. P., SHUSTER, W., STALDER, T., WHEELER, R. T., KORFMACHER, K. S. Wastewater Surveillance for SARS-CoV-2 on College Campuses: Initial Efforts, Lessons Learned and Research Needs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021, 18, s. 4455. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph18094455>
- [8] RUSIÑOL, M., ZAMMIT, I., ITARTE, M. et al. Monitoring Waves of the COVID-19 Pandemic: Inferences from WWTPs of Different Sizes. *Science of the Total Environment*. 2021, 787, s. 147463. Dostupné z: [doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147463](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147463)
- [9] *The New York Times. Health – Coronavirus Sewage*. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2021/05/07/health/coronavirus-sewage.html>.

[10] ZHU, Y., OISHI, W., MARUO, C., SAITO, M., CHEN, R., KITAJIMA, M., SANO, D. Early Warning of Covid-19 Via Wastewater-Based Epidemiology: Potential and Bottlenecks. *Science of the Total Environment*. 2021, 767, 145124.

[11] GONZALEZ, R., CURTIS, K., BIVINS, A., BIBBY, K., WEIR, M., YETKA, K. et al. COVID-19 Surveillance in Southeastern Virginia Using Wastewater-Based Epidemiology. *Water Research*. 2020, 186, 116296.

[12] IBRAHIM, N. Epidemiologic Surveillance for Controlling Covid-19 Pandemic: Types, Challenges and Implications. *Journal of Infection and Public Health*. 2020, 13(11), s. 1630–1638.

[13] BIVINS, A., NORTH, D., AHMAD, A., AHMED, W., ALM, E., BEEN, F. et al. Wastewater-Based Epidemiology: Global Collaborative to Maximize Contributions in the Fight Against Covid-19. *Environmental Science & Technology*. 2020, 54(13), s. 7754–7757.

[14] MLEJNKOVÁ, H., SOVOVA, K., VASICKOVÁ, P., OCENASKOVÁ, V., JASIKOVÁ, L., JURANOVA, E. Preliminary Study of Sars-Cov-2 Occurrence in Wastewater in Czech Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, 17, 5508. Dostupné z: doi: 10.3390/ijerph17155508

[15] PALEOLOGOS, E., O'KELLY, B., TANG, C., CORNELL, K., RODRÍGUEZ-CHUECA, J., ABUEL-NAGA, H. et al. Post Covid-19 Water and Wastewater Management to Protect Public Health and Geoenvironment. *Environmental Geotechnics*. 2021, 8(3), s. 193–207.

[16] LOWE, N., BENCKO, V. Using Wastewater Based Epidemiology (WBE) as an Upcoming Tool for Prediction and Control of Covid-19 Disease Outbreaks. *American Journal of Biomedical Science & Research*. 2021, 14(2), s. 182–183/AJBSR.MS.ID.001975. Dostupné z: doi: 10.342975

[17] Doporučení Evropské komise na zavedení systematického monitoringu SARS-CoV-2 v odpadních vodách ze dne 17. 3. 2021 (Commission Recommendation of 17. 3. 2021 on a Common Approach to Establish a Systematic Surveillance of SARS-CoV-2 and its Variants in Wastewaters in the EU)

Autoři

RNDr. Hana Zvěřinová Mlejnková, Ph.D.¹

✉ hana.mlejnkova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-3892-6226

Ing. Lucia Gharwalová, Ph.D.¹

✉ lucia.gharwalova@gmail.com

Mgr. Kateřina Sovová, Ph.D.²

✉ katerina.sovova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-2067-7081

Mgr. Petra Vašíčková, Ph.D.³

✉ vasickova@vri.cz

ORCID: 0000-0001-6281-5799

Mgr. Jakub Hrdý³

✉ hrdy@vri.cz

ORCID: 0000-0002-0890-5811

Mgr. Magdaléna Krásná³

✉ krasna@vri.cz

ORCID: 0000-0003-2988-8894

Ing. Věra Očenášková¹

✉ vera.ocenaskova@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-8692-2417

Prof. MUDr. Vladimír Bencko, DrSc.⁴

✉ vladimir.bencko@lf1.cuni.cz

ORCID: 000-003-1935-2228

Prof. MUDr. Milan Tuček, CSc.⁴

✉ milan.tucek@lf1.cuni.cz

ORCID: 0000-0001-6398-5925

RNDr. Milena Bušová, CSc.⁴

✉ milena.busova@lf1.cuni.cz

ORCID: 0000-0003-0668-8769

Ing. Eva Juranová¹

✉ eva.juranova@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-9021-7307

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Brno

³Výzkumný ústav veterinárního lékařství, Brno

⁴1. Lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Ústav hygieny a epidemiologie, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.01.004

USE OF SARS-COV-2 MONITORING IN WASTEWATER FOR EARLY EPIDEMIC WARNING

ZVĚŘINOVÁ MLEJNKOVÁ, H.¹; GHARWALOVÁ, L.¹; SOVOVÁ, K.²; VAŠÍČKOVÁ, P.³; HRDÝ, J.³; KRÁSNÁ, M.³; OČENÁŠKOVÁ, V.¹; BENCKO, V.⁴; TUČEK, M.⁴; BUŠOVÁ, M.⁴; JURANOVÁ, E.¹

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

²T. G. Masaryk Water Research Institute, Brno

³Veterinary Research Institute, Brno

⁴First Faculty of Medicine Charles University, Institute of Hygiene and Epidemiology, Prague

Keywords: wastewater monitoring – SARS-CoV-2 – RT-qPCR – WWTP – epidemiological data

The principle of wastewater diagnostics is a suitable complementary approach that can help to obtain epidemiological information on a large part of the population in a non-invasive way. The course of the pandemic spread of the new coronavirus (SARS-CoV-2) has been showing a cyclical course of successive waves of covid-19 infections since 2020. For this model, a systematic detection of the occurrence of its causative agent in wastewater is offered as a very effective approach.

Current findings and conclusions of ongoing studies have clearly shown that wastewater monitoring can be a suitable complement to the formulation of epidemiological forecasts, proposals for measures and thus the protection of public health, in its targeted and systematic implementation. In addition, our results show that wastewater treatment plants (WWTPs) of all categories are suitable for epidemiological diagnostics of wastewater. However, by using wastewater-based epidemiology (WBE), it will be necessary to consistently accept differences between the types and purposes of monitoring, the nature of wastewater and the specifics of sampling points.

Detekcia výmoľovej erózie metódou globálnych navigačných satelitných systémov v lokalite Myjava – Turá Lúka

MICHAELA DANÁČOVÁ, MILICA ALEKSIĆ, MATÚŠ TOMAŠČÍK, ANNA LIOVÁ, ROMAN VÝLETA

Kľúčové slová: výmoľová erózia – monitoring – globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)

SOUHRN

V rámci príspevku sú prezentované čiastkové výsledky štúdie zameranej na monitorovanie erózneho výmoľa v povodí vodného toku Myjava, ktorá preukázala dynamiku zmien a vývoja erózneho výmoľa v lokalite Turá Lúka, a to pomocou rôznych mapovacích techník použitých od roku 2014 až doposiaľ. Zo štúdie vyplýva, že výber mapovacej techniky závisí od viacerých kritérií a účelu úlohy, kde každá z nich má svoje výhody aj nevýhody. V prípade stanovenia parametrov erózneho výmoľa (objem, dĺžka a poloha) je vhodné plošné mapovanie technológiou terestrického laserového skenovania alebo využitia lietadiel bez posádky, teda zberu údajov, ktorého výsledkom je mračno bodov. Pre hodnotenie výmoľovej erózie v priečných profiloch, zložitejších úsekoch, prípadne v miestach vybudovaných protieróznych a stabilizačných prehrádzok vo výmoľi je postačujúce meranie pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) použitím GPS prístroja. Tento predpoklad sa podarilo potvrdiť na základe výsledkov z terénnych meraní erózneho výmoľa technológiou GNSS v období 2017–2021. Hodnotenie výsledkov je uvedené v tomto príspevku. Daný spôsob mapovania erózneho výmoľa bol vybraný pre potrebu podrobného profilového hodnotenia v minulosti už identifikovaných kritických úsekoch (priečných profiloch) monitorovanej eróznej formy na základe prieskumu v teréne a z plošného skenovania, ako aj z dôvodu jednoduchého spracovania údajov. Nenáročnosť tejto metódy vzhľadom na typ úlohy, personálne obsadenie, časovú náročnosť a objem údajov predurčuje a potvrdzuje vhodnosť jej výberu pre použitie v danej problematike. Dôležitou požiadavkou pri výbere tejto meracej techniky je bezproblémový prístup k miestu merania a prijímaný signál z družíc GPS prístrojom ovplyvňujúci presnosť merania vzhľadom na okolitú vegetáciu. Dostatočným testovaním a porovnaním dostupných mapovacích techník je možné účelne a reálne zvoliť vhodnú efektívnu technológiu pre monitorovanie erózných foriem v krajine pre vopred predefinovaný účel. Príspevky tohto typu pomôžu riešiteľom podobných úloh v rozhodovaní pri výbere technológie mapovania krajiny.

ÚVOD

Erózia pôdy v prípustnej forme je prirodzený proces vyskytujúci sa v krajine, ale z pohľadu dlhodobého negatívneho efektu na produkčnú schopnosť pôdy je potrebné brať tento typ degradácie pôdy ako významnú environmentálnu hrozbu [1]. Napriek tomu sa častokrát neuváženou antropogénnou činnosťou v krajine prispieva k zvýšeniu erodovateľnosti pôdy [2]. K najvýznamnejším

environmentálnym degradačným rizikám negatívne vplyvujúcim na zhoršovanie základných pôdných parametrov a pôdných funkcií na Slovensku patrí vodná erózia. Práve jej neprípustná alebo zrýchlená forma na poľnohospodárskych pôdach nielenže výrazne ovplyvňuje produkčnú, ako aj mimoprodukčnú funkciu pôd, ale má aj vysoký potenciál ohrozovať intravilán obytných území v podobe bleskových bahenných povodní. Tie sú spôsobené extrémnymi zrážkami dopadajúcimi na relatívne malú plochu územia za krátky čas, kedy vzniká sústredený povrchový odtok a odnos pôdných častíc z vyššie položených poľnohospodárskych území do území z nižšou nadmorskou výškou. Takýmto rozrušovaním pôdneho profilu sú vytvárané na zemskom povrchu zárezy (ryhy a výmoľe), ktoré majú tendenciu postupne sa prehĺbovať. Okrem určujúcich vlastností reliéfu z hľadiska erózie pôdy, teda prispievajúcej plochy a sklonitostných pomerov, podmieňujú koncentráciu povrchového odtoku mnohokrát aj spádnicovo a šikmo orientované poľné cesty, rozhrania medzi poliami a brázdy po kolesách poľnohospodárskych strojov [3]. Dôsledkom zrýchleného, sústredeného odtoku a erózných procesov je existencia a intenzívna tvorba dočasných alebo trvalých erózných rýh a výmoľov. Pre potrebu riešenia výmoľovej erózie je nevyhnutné stanovenie jej lokalizácie, meranie a monitorovanie vývoja jej zmien a dynamiky pre návrh eliminačných alebo stabilizačných opatrení.

Na účely modelovania [4, 5] a monitorovania prírodných eróžno-transportných procesov a ich prvkov v krajine [6–9] sa v súčasnosti využívajú moderné vyspelé technológie, ktoré sú spojené s experimentálnou prácou v teréne a zberom údajov. Medzi progresívne monitorovacie techniky patrí najmä terestrické laserové skenovanie (známe pod skratkou TLS – z angl. Terrestrial Laser Scanning), letecké laserové skenovanie (známe pod skratkou LIDAR – z angl. Light Detection And Ranging) a využitie lietadiel bez posádky alebo drohov (známe pod skratkou UAV – z angl. Unmanned Aerial Vehicle). Umožňujú v pomerne krátkom čase, na relatívne veľkých plochách a bez potreby terénnych úprav získať informácie o type využitia krajiny, morfológii a vlastnostiach vegetačnej pokrývky [10–13]. V niektorých prípadoch je však použitie týchto technológií nepraktické a nemožno ich len tak jednoducho aplikovať, či už vzhľadom na lokalizáciu erózneho prvku v krajine (ryhy alebo výmoľa), jeho rozmery, prípadne vegetačná pokrývka. Na získavanie a zber priestorových údajov týchto plošných a líniových nežiaducich foriem erózie pôdy vtedy možno použiť klasické spôsoby a meracie techniky ako geodetické merania (tachymetria) alebo metódy globálnych navigačných satelitných systémov (známe pod skratkou GNSS – z angl. Global Navigation Satellite System).

Cieľom príspevku je vo forme príkladovej štúdie zosumarizovať poznatky i výsledky z terénnych meraní a analyzovať výskyt i dynamiku vývoja erózneho výmoľa v jeho kritických úsekoch (pričných profiloch) v rámci lokality Myjava – Turá Lúka pomocou kontinuálnych dlhodobých meraní (za obdobie rokov 2014–2021) realizovaných technológiou GNSS.

ZÁUJMOVÉ ÚZEMIE

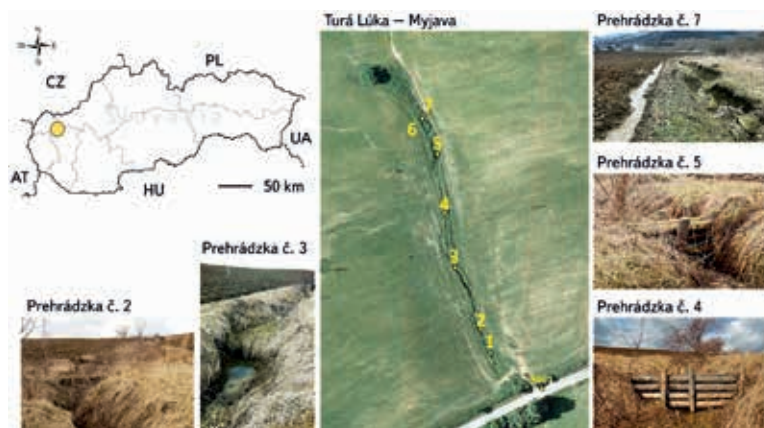
Oblasť Myjavskej pahorkatiny sa rozprestiera na západnom Slovensku a vyznačuje sa značným výskytom erózných rýh a výmoľov, ktorých vznik sa spája s kopaničiarskou kolonizáciou sprevádzanou vo veľkej miere odlesňovaním územia a jeho následným využitím pre poľnohospodársku činnosť. Členitosť terénu, výrazné sklonitostné pomery, veľkoblokové obrábanie pôdy a špecifické využitie územia (najmä poľnohospodársky využívané svahy) vytvárajú ideálne podmienky na tvorbu eróžno-transportných a odtokových procesov, ktoré zapríčiňujú vznik škodlivej formy erózie pôdy (erózných rýh a výmoľov).

Monitorovaný erózný výmoľ je situovaný na poľnohospodársky využívanom svahu v blízkosti mestskej časti Turá Lúka – Myjava. Výskumná plocha svahu má rozlohu 0,3 km² v pásme flyšu s vápencovými blokmi Bielych Karpát a nachádza sa v geomorfologickom celku Myjavskej pahorkatiny. Z pedologického hľadiska tu dominujú predovšetkým kambizeme. Z hľadiska klimatických pomerov patrí územie do mierne teplého, vlhkého územia s chladnou až studenou zimou, s priemerným ročným úhrnom zrážok 600–700 mm a s priemernou ročnou teplotou vzduchu 8 °C. Z hydrologického hľadiska je územie ohrozené najmä v letnom (najvyššie zrážky boli zaznamenané v mesiacoch máj – júl) a v zimno-jarnom období pri topení snehu a zrážok. Kombinácia hydrometeorologických podmienok, reliéfu, využívania územia a nízke priepustnosti podložia prispieva k vývoju erózneho výmoľa v tomto území. V súčasnosti je dĺžka výmoľa približne 300 m a jeho priemerný pozdĺžny sklon je 10 %. V [14] na podkladoch vojenského mapovania identifikovali výskyt tejto erózne formy v záujmovom území už v 19. storočí. V 90. rokoch minulého storočia bol erózný výmoľ zasypaný zeminou a následne bolo územie využívané na agrárne účely. Časom pod vplyvom výdatných zrážok a topenia snehu v členitom teréne bola opäť vytvorená erózna rýha v spádnicu veľkorozmerného poľnohospodársky využívaného svahu, ktorá mala tendenciu sa zväčšovať do formy výmoľa. Vzhľadom na vývoj v čase a parametre (dĺžka a hĺbka) erózneho výmoľa ho nebolo možné už obrábať, následne na to bol klasifikovaný ako permanentný. Výmoľ sa nechal zarásť náletovými drevinami a trvalým trávnatým porastom (na podporu jeho stabilizácie) a bol vyňatý z potrieb pre poľnohospodárske účely (obr. 1).

Pre výskyt bahenných povodní po príválových letných dažďoch a v čase jarného topenia snehu, kedy extrémny povrchový odtok spolu s erodovaným materiálom spôsobil zanášanie cestnej komunikácie a obydľí, bol v roku 2010 erózný výmoľ zaradený do projektu „Program revitalizácie krajiny a integrovaného manažmentu povodí SR“. Počas realizácie tohto projektu bolo vybudovaných vo výmoľe 7 malých drevených prehrádzok ako forma protieróznych a stabilizačných opatrení (obr. 1).

MATERIÁL A METÓDY

Monitorovanie lokality erózneho výmoľa v lokalite Myjava – Turá Lúka bolo úzko späté so zahraničným projektom 7. RP EÚ RECARE (2014–2019), ktorého výsledky boli použité pri tvorbe legislatívy EÚ zameranej na ochranu pôdy a zabezpečenie udržateľného poľnohospodárstva a potravinovej bezpečnosti. Na meranie erózneho výmoľa bolo aplikovaných viacero mapovacích techník (obdobie 2014–2021), kde ich výber závisel od dostupnosti, časovej náročnosti, presnosti merania, ale aj podmienok vyplývajúcich z ročného obdobia počas terénnych meraní a výskytu vegetačnej pokrývky. Terénne merania sa vykonávali minimálne raz ročne a pokračuje sa s jeho monitorovaním až doposiaľ.



Obr. 1. Lokalizácia záujmového územia monitorovaného erózneho výmoľa so 7 drevenými stabilizačnými prehrádzkami

Fig. 1. Location of the study region of the erosion gully with 7 small wooden check dams



Obr. 2. Fotodokumentácia z merania erózneho výmoľa pomocou technológie GNSS v období rokov 2017–2021

Fig. 2. The photo documentation of the erosion gully using GNSS technology from 2017–2021

V roku 2014 bolo záujmové územie mapované UAV technológiou, kedy bolo použité lietadlo bez posádky typu Gatewing X100 s pevnými krídlami. V jarnom období, v rokoch 2015 a 2016 bol erózný výmoľ podrobne meraný technológiou TLS, kedy bol použitý 3D laserový skener typu Trimble TX5 s presnosťou fázo-vého zamerania vzdialenosti 2 mm/25 m. Aplikácia týchto moderných vyspe-lých technológií pre mapovanie krajiny bola spojená nielen s plánovaním a prípravou merania, zberom bodových údajov v teréne a experimentálnou prácou, ale aj následným spracovaním meraných údajov a v neposlednom rade s analý-zou výsledkov s vyhodnotením geomorfologických charakteristík daného úze-mia. Čiastkové výsledky z týchto meraní boli priebežne publikované [15].

Použitie moderných mapovacích technológií pre monitoring erózneho prvku v krajine si vyžaduje mať zemský povrch z veľkej časti upravený od rozsiahlej vegetácie (napr. trávnatý porast, kroviny a náletové dreviny), čo je per-sonálne a časovo náročné. Od roku 2017 bol teda erózný výmoľ monitorovaný

iba technológiou GNSS, prístrojom Leica Systém GS15 GNSS s pripojením na službu SKPOS (generuje tzv. sieťové korekcie geodetických súradníc v reálnom čase), práve kvôli výskytu rozvinutej vegetácie v ňom. Táto technológia je nenáročná na spracovanie meraných údajov, avšak ich zber je podmienený potrebou tvorby bodového poľa, teda hustotou bodov, kde každý bod má presnú horizontálnu a vertikálnu polohu. Na obr. 2 je zobrazený stav vegetácie v čase merania zmien erózneho výmoľa v období rokov 2017–2021.

VÝSLEDKY

V minulosti sa podľa [16] kategorizovala výmoľová erózia na základe zistenia základných parametrov výmoľa (dĺžka, sklon, priemerná hĺbka a šírka). Tieto parametre boli vo väčšine určované v rovnomerne rozmiestnených priečných profiloch. V prípade erózneho výmoľa bolo teda monitorovanie zamerané na určenie jeho dna, resp. osi (hlavnej línie) a hrán vo vybraných 20 priečných



Obr. 3. Poloha monitorovaných 20 priečných profilov v eróznom výmoľe: čierna šípka označuje 9 vybraných analyzovaných profilov (zdroj podkladu: GKÚ Bratislava, NLC, 2019)
Fig. 3. Location of the 20 transverse profiles in the gully erosion: the black arrow shows 9 selected profiles (base map: GKÚ Bratislava, NLC, 2019)

profiloch po jeho celej dĺžke (obr. 3). Dôvodom bolo zistenie geomorfologických zmien výmoľa v miestach, kde bolo preukázané zanášanie erodovaným sedimentom z vyššie položených území.

Informácia o dátume merania, ako aj počte zameraných bodov, je uvedená v tab. 1.

Tab. 1. Prehľad počtu meraných bodov v profiloch erózneho výmoľa pomocou technológie GNSS v období rokov 2017–2021

Tab. 1. The overview of the measured points in the profiles of erosion gully with the use of GNSS from 2017–2021

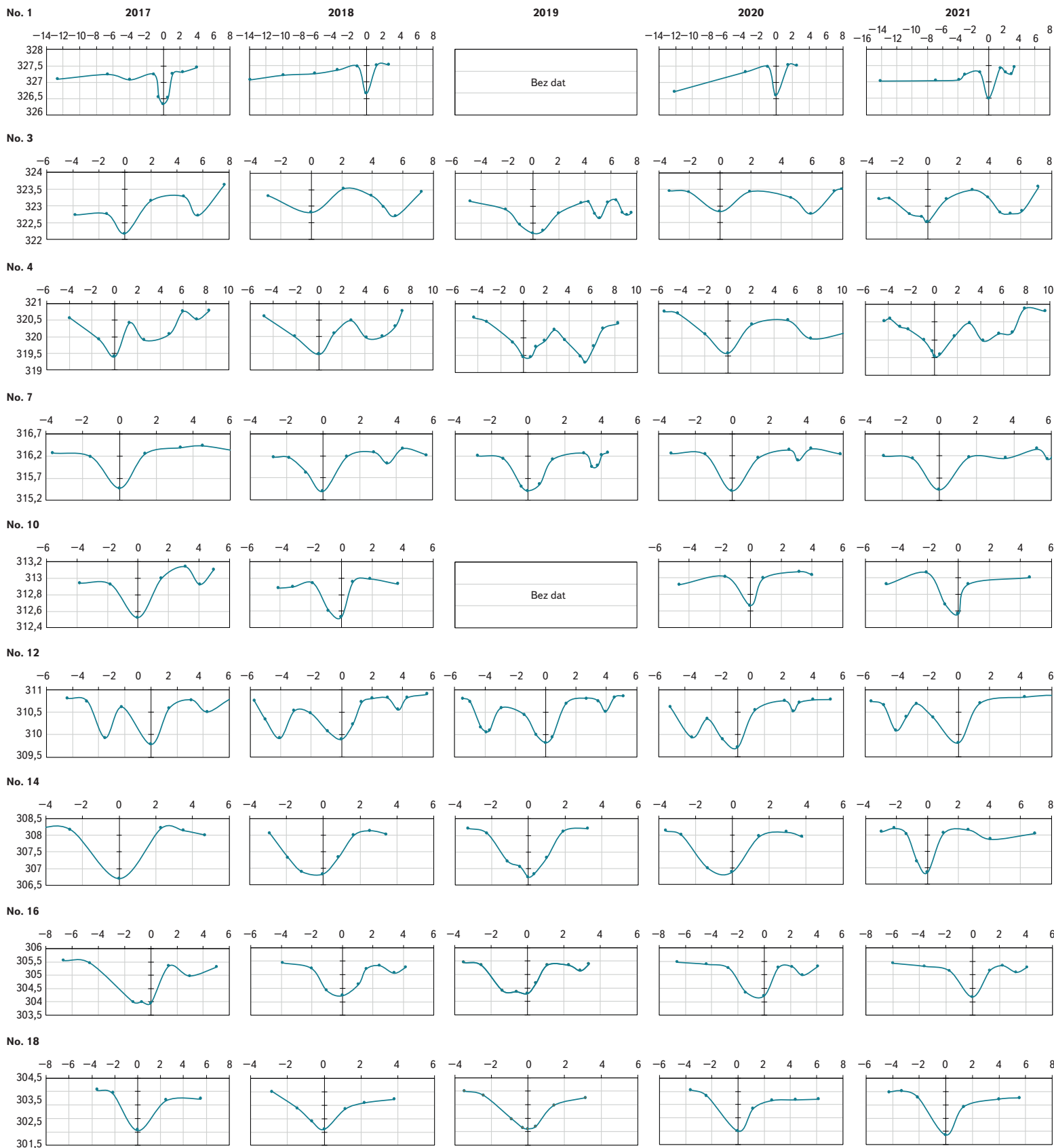
Rok/mesiac	Bodové pole
2017/08	191 bodov
2018/06	248 bodov
2019/04	164 bodov
2020/07	153 bodov
2021/11	210 bodov

V [17] bola prehodnotená účinnosť protieróznych opatrení v profiloch priamo pred 7 malými drevenými prehrádzkami za obdobie 2014–2017 (obr. 1), a neskôr boli aktualizované a doplnené v [18]. K zmenám geomorfológie dochádza pozdĺž celého výmoľa, a to aj mimo týchto prehrádzok. Z tohto dôvodu bola v príspevku analýza zmien výmoľa zameraná v miestach vybraných, čiastočne rovnomerne rozdelených priečných profilov bez ohľadu od polohy prehrádzok (obr. 3). Od roku 2017 je celkovo bodovo zameriavaných 20 priečných profilov pomocou Leica Systém GS15 GNSS, ale posledné 2 roky (rok 2020–2021) už iba 18 profilov. Profily 19 a 20 boli vyčlenené z monitorovania, a to z dôvodu ich úplného zanesenia transportovaným sedimentom a kvôli čoraz hustejšiemu výskytu vegetácie a drevín. Problémom je prístup k miestu merania a samotné tienenie vegetácie, kde vo väčšine prípadov dochádza k strate signálu s družicami (satelitom), čím sa výrazne zvyšuje nepresnosť merania. V takom prípade ostáva možnosť zamerať tieto priečne profily pomocou totálnej geodetickej stanice. Táto metóda merania však nebola aplikovaná.

Pre účel hodnotenia stavu erózneho výmoľa bolo vybraných 9 priečných profilov, konkrétne profil 1, 3, 4, 7, 10, 12, 14, 16 a 18 (obr. 3). Ich grafické zobrazenie je uvedené na obr. 4. Vo výsledkoch a porovnaniach nie sú uvedené profily 1 a 10 (pre rok 2019, označené ako NO DATA), pretože neboli zamerané z dôvodu nepriaznivého počasia a prístupu k miestu merania, resp. straty signálu s družicami.

Niektoré profily nemohli byť zaradené kvôli nie úplne identickej línii merania v jednotlivých rokoch. A tak pre zhoršenú možnosť korektného hodnotenia vývoja zmeny morfológie erózneho výmoľa boli vyradené. Už po vizuálnej stránke možno zhodnotiť, že v záhlaví, teda najvrchnejšej časti výmoľa, sa prejavili očakávané menšie zmeny. V tejto najširšej časti výmoľa sa nachádzajú pomerne malé hĺbky a popri ňom niekoľko menších rýh. Zmeny menšieho rozsahu sú spôsobené aj vzhľadom na nižší sklon tejto časti výmoľa, ako aj na menšiu odtokovú plochu. Nad záhlavím výmoľa sa počas roka objavuje voda nad povrchom terénu. Zhruba 80 m od záhlavia erózneho výmoľa, t. j. od profilu 4, dosahuje výmoľ hĺbku už viac ako 1 m. Z grafického zobrazenia priečného profilu meraného v roku 2019 je vidieť, že má iný priebeh. Dôvodom je nezachovanie smeru línie meraných bodov v profile 4, ako tomu bolo v ostatných rokoch. Následkom čoho bol tento rok vylúčený z celkového porovnania tvaru a parametrov výmoľa v tomto profile. V strednej časti výmoľa (profil 7 až 14), v úseku na dĺžke výmoľa 100–190 m, sa neprejavila zmena najhlbšej časti, teda osi hlavného výmoľa. Pohybuje sa medzi 1,5–2 m, avšak zmena tvaru, resp. tvorba vedľajších efemérnych (dočasných) rýh, sa prejavila až v profile 12. V tomto úseku

Rok merania bodov v priečných profiloch erózneho výmoľa



Obr. 4. Vybrané hodnotené priečné profile erózneho výmoľa merané pomocou technológie GNSS za obdobie rokov 2017–2021

Fig. 4. Selected transverse profiles of erosion gully measured using GNSS technology from 2017–2021

sú najvyššie sklonitostné pomery, ktoré dosahujú sklony až 20 %. V dolnej časti erózneho výmoľa (porovnanie profilov 16 až 18) možno pozorovať zanášanie transportovanými časticami. Pre podrobnejšiu analýzu výmoľovej erózie v tejto lokalite by bolo potrebné realizovať opäť meranie modernými technológiami (UAV alebo TLS), ako tomu bolo v rokoch 2014–2016, alebo použiť techniku GNSS s oveľa väčším počtom bodových meraní, čo je výrazne časovo náročnejšie.

ZÁVERY A DISKUSIA

V príspevku sú spracované výsledky z terénnych meraní erózneho výmoľa z obdobia 2017–2021 nachádzajúceho sa v lokalite Myjava – Turá Lúka. Na analýzu výmoľovej erózie bolo vybraných 9 priečných profilov rozmiestnených pozdĺž erózneho výmoľa, ktorých body boli merané pomocou technológie GNSS. Ich hodnotenie spočívalo v porovnaní tvaru priečného profilu, zmene maximálnej hĺbky, čím sa môže zistiť ich prehlbovanie (zarezávanie), zanášanie dna alebo erózia, resp. zosuv bočných svahov výmoľa. Efektívnosť merania sa považuje za jednu z hlavných výhod tejto metódy, pretože meranie a následné vyhodnotenie bodov určujúcich zmenu tvaru erózneho výmoľa dokáže zabezpečiť čo i len jedna osoba.

Je potrebné však dbať na meranie bodov v rovnakej línii profilu, aby bolo možné ich korektné porovnanie.

Vyhodnotenie výsledkov terénnych meraní potvrdilo, že horná časť erózneho výmoľa má zložitejší tvar, nedochádza tu však k výraznejšej zmene hĺbky ani tvaru, vzhľadom na výrazný výskyt vegetácie. V strednej časti boli zaznamenané mierne zmeny v horizontálnom, ako aj vertikálnom smere, pričom k najvýraznejším zmenám dochádza v profiloch nachádzajúcich sa v spodnej časti erózneho výmoľa, kde sa aj očakávalo ich zanášanie. Na základe dlhodobého monitorovania erózneho výmoľa je možné prehodnotiť aktuálne stabilizačné opatrenia, ako aj možnosť implementovania ďalších ochranných a stabilizačných opatrení na zníženie erózne-transportných a odtokových procesov v danej lokalite. Z tohto dôvodu je monitorovanie erózneho výmoľa opodstatnené a malo by pokračovať aj v ďalšom období, s prihliadnutím aj na prípadný vplyv klimatickej zmeny v podobe výskytu extrémnejších prívalových zrážok. Každé zhruba 2–3 roky by bolo vhodné podrobnejšie meranie (napr. technológiou UAV alebo TLS) v jarňom období kvôli ešte nerozvinutej rozsiahlej vegetácii, ako tomu bolo v rokoch 2014–2016. Tým by bolo zabezpečené hodnotenie polohy línie dna (osi výmoľa), dĺžky výmoľa a jeho objemu. Bodové meranie v mieste profilov pred prehrádzkami a vybraných priečných profilov je postačujúce raz do roka. Na druhú stranu, existuje viacero možností terénneho mapovania a nemožno opomenúť, že v súčasnosti sú verejne dostupné aj priestorové údaje získané z laserového leteckého skenovania (LIDAR), ÚGKK SR. Údaje pochádzajúce z tohto zdroja by bolo v budúcnosti taktiež možné využiť pri tomto type úloh, pričom by bolo zaujímavé ich porovnanie s terénnymi meraniami.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0340 a APVV-18-0347. Taktiež bola spracovaná aj vďaka finančnej podpore grantového projektu VEGA 1/0632/19.

Literatúra

- [1] LABUDA, M. Hodnotenie recentného stavu mimoprodukčných funkcií poľnohospodárstva (modelový príklad). *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae* (Bratislava). 2009, 17(1), s. 53–70 ISSN 1335-0285.
- [2] STANKOVIANSKY, M. *Geomorfologická odozva environmentálnych zmien na území Myjavskej pahorkatiny*. Bratislava: UK, 2003. 152 s.
- [3] STANKOVIANSKY, M. Vplyv dlhodobého obrábania pôdy na vývoj slovenských Karpát. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*. 2008, 50, s. 95–116.
- [4] NÉMETOVÁ, Z., HONEK, D., KOHNŇOVÁ, S., HLAVČOVÁ, K., ŠULC MICHÁLKOVÁ, M., SOČUVKA, V., VELÍSKOVÁ, Y. Validation of the EROSION-3D Model through Measured Bathymetric Sediments. *Water*. 2020, 12(4), s. 1082. ISSN 2073-4441.
- [5] MEINEN, B. U., ROBINSON, D. T. Agricultural Erosion Modelling: Evaluating USLE and WEPP Field-Scale Erosion Estimates Using UAV Time-Series Data. *Environmental Modelling & Software*. 2021, 137, 104962. ISSN 1364-8152. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.104962>
- [6] WELLS, R. R., MOMM, H. G., BENNETT, S. J., GESCH, K. R., DABNEY, S. M., CRUSE, R., WILSON, G. V. A Measurement Method for Rill and Ephemeral Gully Erosion Assessments. *Soil Science Society of America Journal*. 2016, 80(1), s. 203–214.
- [7] HLAVČOVÁ, K., DANÁČOVÁ, M., KOHNŇOVÁ, S., SZOLGAY, J., VALENT, P., VÝLETA, R. Estimating the Effectiveness of Crop Management on Reducing Flood Risk and Sediment Transport on Hilly Agricultural Land – A Myjava Case Study, Slovakia. *CATENA*. 2019, 172, s. 678–690. Dostupné z: doi: 10.1016/J.CATENA.2018.09.027
- [8] VALENT, P., VÝLETA, R., DANÁČOVÁ, M. A Joint Sedimentation-Flood Retention Assessment of a Small Water Reservoir in Slovakia: A New Hope for Old Reservoirs? *Geosciences*. 2019, 9(4), s. 158. Dostupné z: doi: 10.3390/geosciences9040158
- [9] DOUGLAS-MANKIN, K. R., ROY, S. K., SHESHUKOV, A. Y., BISWAS, A., GHARABAGHI, B., BINNS, A., RUDRA, R., SHRESTHA, N. K., DAGGUPATI, P. A Comprehensive Review of Ephemeral Gully Erosion Models. *CATENA*. 2020, 195, 104901. ISSN 0341-8162. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104901>
- [10] CASTILLO, C., PÉREZ, P., JAMES, M. R., QUINTON, J. N., TAGUAS, E. V., GÓMEZ, J. A. Comparing the Accuracy of Several Field Methods for Measuring Gully Erosion. *Soil Science Society of America Journal*. 2012, 76, s. 1319–1332.
- [11] ELTNER, A., MULSOW, C. A., MAAS, H.-G. Quantitative Measurement of Soil Erosion from TLS and UAV Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2013, XL-1/W2, 119–124.
- [12] NEUGIRG, F., KAISER, A., SCHMIDT, J., BECHT, M., HAAS, F. Quantification, Analysis and Modelling of Soil Erosion on Steep Slopes Using LIDAR and UAV Photographs. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. 2015, 367, s. 51–58.
- [13] UYSAL, M., TOPRAK, A. S., POLAT, N. DEM Generation with UAV Photogrammetry and Accuracy Analysis in Sahitler Hill. *Measurement*. 2015, 73, s. 539–543.
- [14] DANÁČOVÁ, M., NOSKO, R., VÝLETA, R., KARABOVÁ, B., SZOLGAY, J. Possibilities of Estimating the Gully Erosion Changes on the Myjava Basin. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2015, 16, TC 1, s. 167–175.
- [15] NOSKO, R., VÝLETA, R., FRAŠTIA, M., ŠKRINÁR, A., DANÁČOVÁ, M. Estimation of Changes in Erosion Gully on a Hillslope. In: *SGEM 2016. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Book 3. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems: Conference Proceedings. Extended Scientific Sessions. Vienna, Austria, 2–5 November 2016*. 1. vyd. Sofia: STEF 92 Technology, 2016, s. 95–102. ISSN 1314-2704.
- [16] ZACHAR, D. *Erózia pôdy*. Bratislava: Vydavateľstvo SAV, 1970. 528 s.
- [17] NOSKO, R., VÝLETA, R., MALIARIKOVÁ, M., DANÁČOVÁ, M. Monitoring of the Gully Erosion Technical Measures Efficiency through the Use of Modern Technologies. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2018, 19(1), s. 84–92.
- [18] DANÁČOVÁ, M., VÝLETA, R., ALEKSIČ, M., MALIARIKOVÁ, M., NOSKO, R. Comparing Changes over Time: The Permanent Gully Erosion on the Myjava Hill Lands (Slovakia). In: *Public Recreation and Landscape Protection – with Sense Hand in Hand: Conference Proceedings. 10th–11th May 2021*. (on-line). 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita, 2021, s. 84–88. ISSN 2336-6311. ISBN 978-80-7509-779-8.

Autoři

doc. Ing. Michaela Danáčová, PhD.

✉ michaela.danacova@stuba.sk

ORCID: 0000-0002-5789-5365

Ing. Milica Aleksić

✉ milica.aleksic@stuba.sk

ORCID: 0000-0001-6332-0851

Ing. Matúš Tomaščík

✉ matus.tomascik@stuba.sk

ORCID: 0000-0001-7650-4211

Ing. Anna Liová

✉ anna.liova@stuba.sk

ORCID: 0000-0002-7165-2378

Ing. Roman Výleta, PhD.

✉ roman.vyleta@stuba.sk

ORCID: 0000-0002-4594-2515

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta,
Katedra vodného hospodárstva krajiny

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.01.005

DETECTION OF GULLY EROSION USING THE METHOD OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS IN THE MYJAVA – TURÁ LÚKA LOCATION

DANÁČOVÁ, M.; ALEKSIĆ, M.; TOMAŠČÍK, M.; LIOVÁ, A.; VÝLETA, R.

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Civil Engineering,
Department of Land and Water Resources Management

Keywords: gully erosion – monitoring –
Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

This paper shows the partial outcomes of the study focused on monitoring gully erosion near the Myjava river basin. The study showed the progress of the dynamic changes in gully erosion in the location of Turá Lúka using various surveying techniques from the year 2014 until the present. The study shows that selection of the surveying technique depends on various criteria and the aim of the task, where each possesses advantages and disadvantages. In the case of determination of the parameters of the gully erosion (volume, length, and position), one of the suitable surveying techniques is Terrestrial Laser Scanning (TLS) as well as Unmanned Aerial Vehicle (UAV) method, which results in a point cloud. Measurement using Global Navigation Satellite Systems (GNSS) with a GPS device is sufficient for assessing gully erosion in transverse profiles, more complex sections, or in places with built anti-erosion and stabilization dams in a gully. This assumption was confirmed based on results from field measurements of erosion gully by GNSS technology in 2017–2021. The evaluation of the results is given in this article. The given method of mapping the erosion gully was chosen for the need for detailed profile evaluation of previously identified critical sections (transverse profiles) of the monitored erosion form based on field surveying and area scanning and for simple data processing. The simplicity of this method due to the type of task, staffing, time, and volume of data predetermines and confirms the suitability of its selection for use under the given circumstances. When choosing this measuring technique, a requirement is easy access to the measuring point and the quality signal received from the satellites by GPS devices influencing the accuracy of the measurement concerning the surrounding vegetation. Sufficient testing and comparison of available surveying techniques make it possible to efficiently and realistically select a suitable effective technology for monitoring erosive forms in the landscape for a predefined purpose. Contributions of this type will help researchers of similar tasks in decision-making when choosing the most suitable landscape surveying technology.



Změny srážek a odtoků na povodích v ČR v období intenzivního oteplování

LADISLAV KAŠPÁREK, ROMAN KOŽÍN

Klíčová slova: zvyšování teploty vzduchu — změny atmosférických srážek — změny odtoku z povodí

SOUHRN

Základní meteorologické veličiny, které ovlivňují hydrologický režim, jsou atmosférické srážky a teplota vzduchu. Obě kolísají nejen krátkodobě a v ročním cyklu, ale i dlouhodobě. Dlouhodobé změny obou těchto veličin mají charakter periodického kolísání kolem středních hodnot. V případě teploty vzduchu se na území České republiky přibližně od roku 1980 projevuje její systematické zvyšování. Předložený článek přináší informace o tom, jak kolísání klimatu, jež tuto změnu přináší, ovlivňuje režim srážek a odtoku na našem území.

V první části studie jsme využili dlouhodobých pozorování průtoků Labe v Děčíně od roku 1851 a srážek na jeho povodí a porovnali změny srážek a odtoku z období po roce 1980 s extrémními kolísáními v předcházejícím období. Kolísání čtyřicetiletých klouzavých průměrů ročních a sezonních srážek a ročních a sezonních odtoků s výjimkou vzestupu zimních odtoků nevybočilo z rozmezí, v němž kolísaly v období 1851–1980.

V další práci jsme se zaměřili na posouzení možných změn srážek a odtoku v období oteplování v sedmi větších povodích z různých oblastí ČR. V období 1981–2019 v porovnání s předcházejícím obdobím 1961–1980 se průměry ročních srážek ve čtyřech povodích zvětšily o 2 % až 4 %, na povodí Ohře o 7,5 %. V povodí Labe nad Vltavou cca o 1 % a v povodí Odry o 3 % průměry ročních srážek klesly. Na zvětšení ročních srážek se podílely zejména vzestupy srážek v zimních a podzimních měsících, ve třech povodích nastaly znatelné poklesy jarních, ve dvou povodích letních srážek. Průměrné průtoky v období 1981–2019 byly ve všech porovnávaných vodoměrných stanicích menší než v období 1961–1980, v relativním měřítku až o 17 % ve stanici Bohumín na Odře, nejméně o cca 2 % v Lounech na Ohři.

Při porovnání výsledků pro Sázavu, Lužnici, Berounku a Ohři shledáme, že směrem od východu na západ se poklesy z hodnot mírně převyšujících 10 % mění až na prakticky nezměněný průtok Ohře.

ÚVOD

Hydrologická služba v ČR tradičně vztahovala charakteristiky průměrných průtoků ke konkrétnímu „reprezentativnímu“ období, z kterého byla použita data pro jejich odvození. Stěžejní dílo *Hydrologické poměry ČSSR* [1] vycházelo z období 1931–1960. Ke změně došlo až po roce 1980, kdy bylo třicetiletí prodlouženo na padesátiletí 1931–1980, zhodnocené ve studii [2] z roku 1992. Další posouzení možných změn hydrologického režimu obsahuje práce [3], jež přináší porovnání charakteristik srážek a průtoků z období 1981–2010 s charakteristikami z období 1931–1980, které používá Český hydrometeorologický ústav od roku 2013. Výsledky této studie vedly k závěru, že nedošlo k významným změnám v hodnotách ročních úhrnů srážek a nebylo možné doložit významné rozdíly charakteristik

průtoků dané přirozenou změnou odtokových podmínek. Bezprostředně po roce 2013 se v ČR vyskytlo víceleté hydrologické sucho, jež bylo podle studie [4] nejdelší ze všech období sucha v povodí Labe od roku 1851.

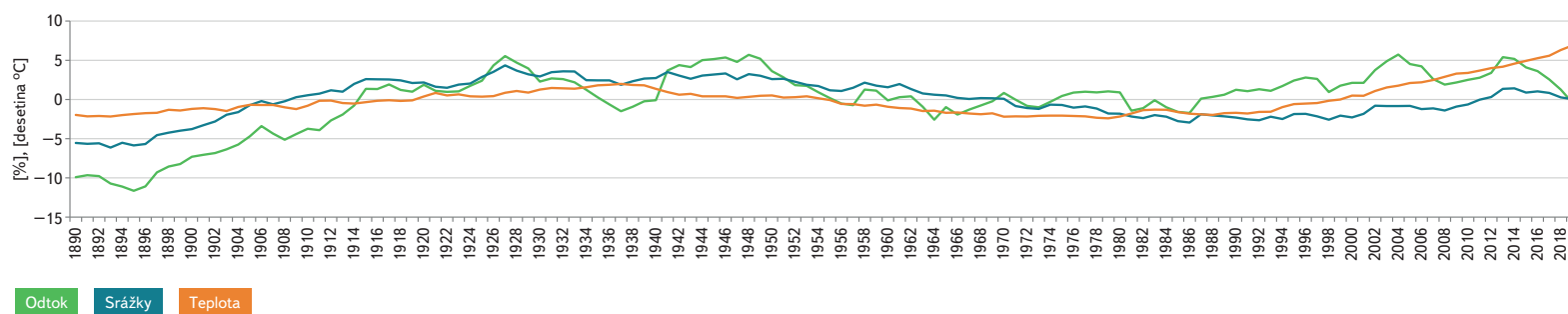
V předkládané studii se pokoušíme zjistit, zda při využití pozorovaných řad srážek a průtoků do roku 2019, které zahrnují období uvedeného meteorologického a hydrologického sucha, nalezneme vliv oteplování na dlouhodobé průměry srážek a průtoků. V první části studie jsme využili dlouhodobých pozorování průtoků Labe v Děčíně od roku 1851 a srážek na jeho povodí a porovnali změny čtyřicetiletých průměrů srážek a odtoku z období po roce 1980 s jejich kolísáním v předcházejícím, intenzivním oteplováním neovlivněném období. V další části jsme se zaměřili na posouzení možných změn srážek a odtoku po roce 1980 v regionálním rozlišení, tj. na to, jak se odlišují průměrné srážky a odtoky na povodích toků v různých oblastech ČR v období let 1981–2019 od průměrů z období 1961–1980, v němž se teplota vzduchu ještě významně nezvyšovala.

POROVNÁNÍ SRÁŽEK A ODTOKŮ NA POVODÍ LABE V OBDOBÍ 1981–2019 S JEJICH KOLÍSÁNÍM V DLOUHODOBÉM MĚŘÍTKU

Nejdříve jsme se zabývali změnami dlouhodobých průměrných srážek a dlouhodobých průměrných výšek odtoku v období oteplování v konfrontaci s jejich dlouhodobým kolísáním v letech 1851–2019. Volba povodí Labe v Děčíně vychází z toho, že jeho plocha zaujímá podstatnou část Čech a je pro něj zpracována dlouhodobá řada průměrných měsíčních srážek i odtoků z období 1851–2019. Od roku 1851 byly na Labi v Děčíně soustavně pozorovány vodní stavy a později ve své práci [5] Novotný rekonstruoval pro historické období průtoky. Použili jsme hodnoty průtoků upravené o odběry vody, vypouštění odpadních vod a manipulace vodních nádrží v povodí. Tato data jsou k dispozici až od roku 1979, což u sezonních a měsíčních průměrů může výsledky porovnání zatížit dodatečnou nepřesností.

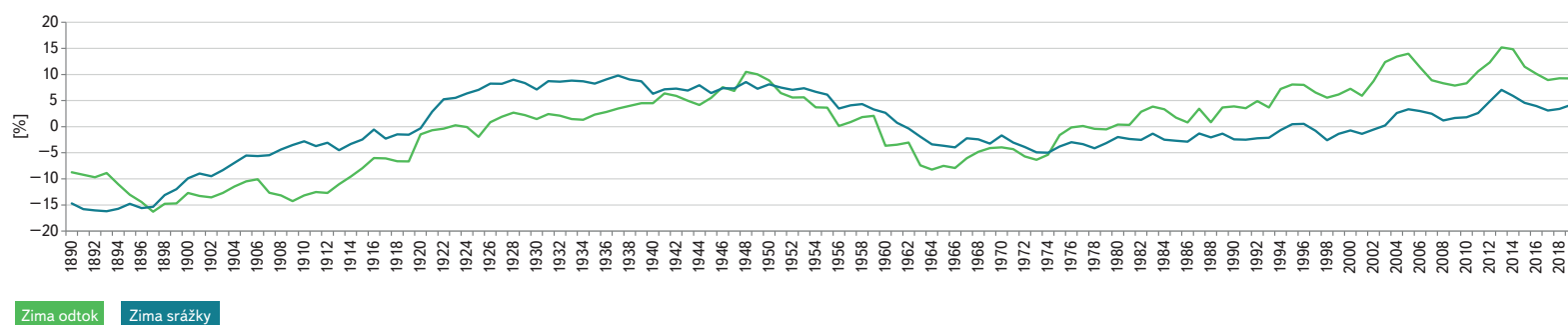
Průměrné srážky na povodí Labe v Děčíně jsou v úseku 1851–1875 zatíženy značnou nejistotou. Do roku 1828 jsou odhadnuty jen podle pozorování z Klementina, počínaje rokem 1829 přibyla pozorování v Havlíčkově Brodě a od roku 1848 v Čáslavi. Od roku 1876 jsou k dispozici data z 55 stanic a od roku 1880 z 382 srážkoměrných stanic.

Oteplování vzduchu, které je součástí globální změny klimatu, se na území ČR intenzivně projevuje po roce 1980. Tento jev je zřejmý na zobrazení odchylek klouzavých průměrů teplot vzduchu za čtyřicetileté období na povodí Labe v Děčíně vypočítaných rozdílem řady ročních průměrů 1851–2019 od průměrné teploty za toto období (viz obr. 1). Na obr. 1 jsou vyznačeny i odchylky



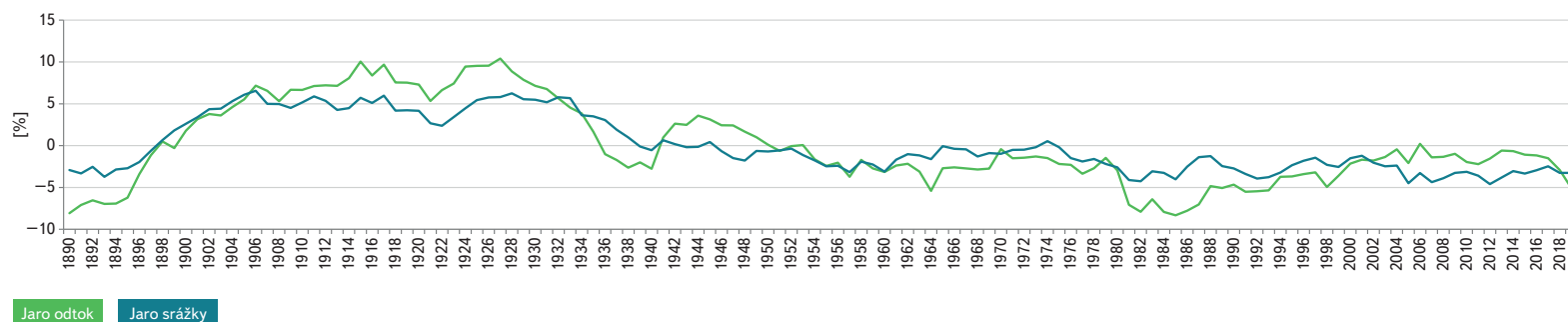
Obr. 1. Relativní odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných ročních srážek a ročních výšek odtoků v % a odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných ročních teplot vzduchu, stupnice v desetinach °C

Fig. 1. Relative deviations of forty-year moving averages of average annual precipitation and annual runoff heights in % and deviations of forty-year moving averages of average annual air temperatures, scale in tenths of °C



Obr. 2. Relativní odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných srážek a výšek odtoků za měsíce prosinec až únor

Fig. 2. Relative deviations of forty-year moving averages of average precipitation and runoff heights for the months December to February



Obr. 3. Relativní odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných srážek a výšek odtoků za měsíce březen až květen

Fig. 3. Relative deviations of forty-year moving averages of average precipitation and runoff heights for March to May

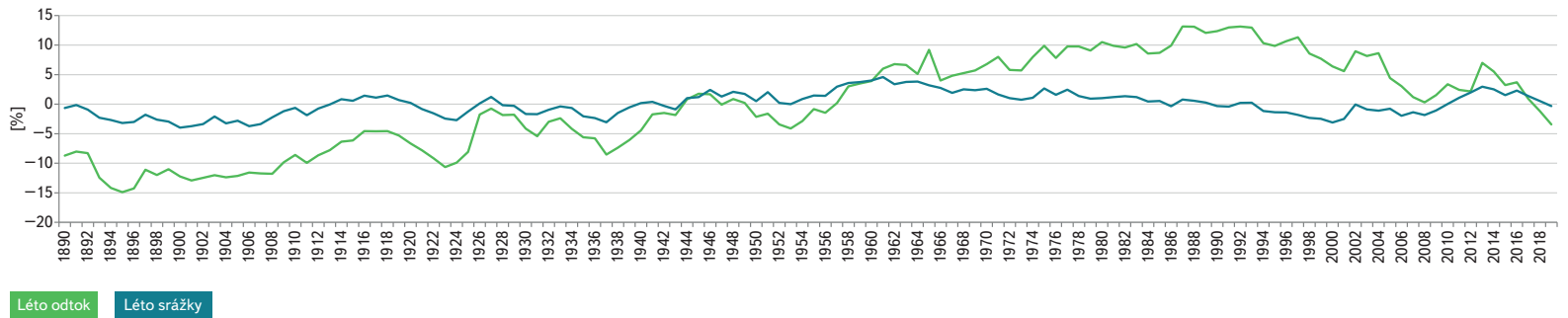
čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných ročních srážek a ročních výšek odtoků z tohoto povodí v podobě relativních hodnot v % průměrů za celé období.

Z analýzy nejdelších řad sledovaných průtoků v ČR, například ve studii dlouhodobého kolísání průtoků Vltavy v Praze [6], vyplynul poznatek, že průměrné průtoky kolísaly v minulosti dlouhodobě v nezanedbatelném rozmezí. Kolísání má periodické složky, což je patrné i na datech ze světových vodních toků, jak prokázala Pekárová v publikaci [7]. Při posouzení možného vlivu oteplování na změny režimu odtoku je nezbytné tento jev vzít do úvahy.

Obr. 1 ukazuje, že i při poměrně dlouhém intervalu průměrování 40 let kolísají průměry srážek přibližně v rozmezí 10 % a kolísání má cyklický charakter s délkou vlny cca 90 až 100 let. Pokud se charakter kolísání nezměnil, jsme v současnosti na vzestupné části cyklu. Ke stejnému poznatku dospěli v článku [8] Květoň a Žák při hodnocení srážkové řady 1808–2019 ze stanice Praha Klementinum.

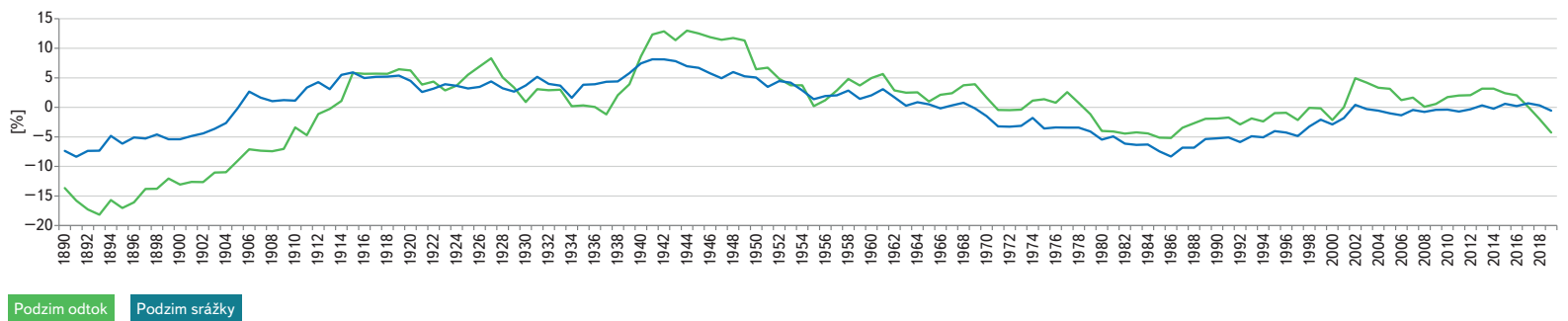
Když pomineme rozdílné průběhy relativních odchylek čtyřicetiletých klouzavých průměrů srážek a odtoků před rokem 1915, jež mohou souviset s nejistotou odhadu srážek před rokem 1875, shledáme podobný průběh odchylek obou veličin až přibližně do roku 1988. Pak až do roku 2013 jsou odchylky odtoku v relativní míře větší než odchylky srážek. Následující období sucha způsobilo pokles odtoků, a tak čtyřicetileté průměry srážek i odtoků za interval 1981–2019 jsou velmi blízké průměrům za celé období 1851–2019, takže na dlouhodobých ročních průměrech srážek i odtoků z období intenzivního oteplování na údajích pro povodí Labe v Děčíně není vliv oteplování patrný.

Pro objasnění, které fáze ročního odtokového cyklu přispívaly k popsání rozdílu odchylek odtoku a srážek, jsme vytvořili grafy porovnávající relativní odchylky čtyřicetiletých průměrů srážek a odtoků ze čtyř ročních sezon (viz obr. 2–5). Rok je rozdělen na období prosinec až únor (zima), březen až květen (jaro), červen až srpen (léto) a září až listopad (podzim).



Obr. 4. Relativní odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných srážek a výšek odtoků za měsíce červen až srpen

Fig. 4. Relative deviations of forty-year moving averages of average precipitation and runoff heights for the months June to August



Obr. 5. Relativní odchylky klouzavých průměrů průměrných srážek a výšek odtoků za měsíce září až listopad

Fig. 5. Relative deviations of moving averages of average precipitation and runoff heights for the months of September to November

Z průběhů čtyřicetiletých klouzavých průměrů sezonních průměrných srážek a odtoků vyplývá:

Zimní srážky i odtoky mají přibližně od roku 1975 vzestupný trend, odtoky od roku 2002 vybočují z rozmezí hodnot, které se vyskytly v předcházející části řady. Lze to vysvětlit tím, že vlivem vyšších teplot roztaje v důsledku zvyšujících se srážek více sněhu již v průběhu zimy a více srážek je dešťových.

Jarní srážky z nadprůměrné úrovně v roce 1933 poklesly cca o 10 % na úroveň roku 1983 a dále jen mírně kolísaly kolem této úrovně. Odtoky z maxima v roce 1927 poklesly do roku 1980 cca o 18 % a pak stoupaly až do roku 2013. Po krátkém poklesu odtoků byly odchylky srážek i odtoků ve čtyřicetiletí 1981–2019 téměř srovnatelné – na úrovni –4 % až –5 %.

Letní srážky v relativním měřítku dlouhodobě příliš nekolísaly, na rozdíl od letních odtoků. Jejich průběh se od průběhu srážek odchyluje podstatně více než u ostatních sezon. Ve čtyřicetiletích končících před rokem 1925 se patrně projevuje menší přesnost odhadu srážek. V následujícím období cca do roku 1954 se průběh odchylek odtoků a odchylek srážek moc neliší. Po roce 1954 se postupně zvětšuje rozdíl mezi odchylkami odtoků a odchylkami srážek. Vysvětlujeme to tím, že za letních povodní v letech 1954, 1981, 1997 a 2002 byl koeficient odtoku z několikadenních intenzivních srážek podstatně větší než ze srovnatelného úhrnu srážek menší intenzity rozložených v delším čase. Po roce 2002 relativní odchylky odtoku klesaly, ve čtyřicetiletí 1981–2019 po období hydrologického sucha až na hodnotu –4 %.

Podzimní srážky i odtoky podobně klesaly z úrovně po roce 1941 o cca 16 % až do roku 1988, pak opět podobně vystoupaly k průměrným hodnotám, odtoky po roce 2013 poklesly až na –4 %.

Z průběhů veličin na obr. 3 až 5 vyplývají souhrnné poznatky:

Kolísání čtyřicetiletých klouzavých průměrů sezonních srážek a odtoků s výjimkou vzestupu zimních odtoků v období po roce 2002 nevybočilo z rozmezí, v němž kolísaly v období 1851–2019.

Tab. 1. Relativní odchylky ročních a sezonních srážek a odtoků na povodí Labe v Děčíně [%] v období 1981–2019 od průměrů z celé řady 1851–2019

Tab. 1. Relative deviations of annual and seasonal precipitation and runoff in the Elbe river basin in Děčín [%] in the period 1981–2019 with respect to the whole period 1851–2019

	Rok	XII–II	III–V	VI–VIII	IX–XI
Srážky	0,04	3,39	–3,25	0,53	0,32
Odtok	–0,42	9,27	–5,08	–3,42	–1,99

Tab. 2. Podíly průměrů sezonních srážek a sezonních odtoků na ročním průměru [%]

Tab. 2. Shares of averages of seasonal precipitation and seasonal runoff on the annual average [%]

	Zima	Jaro	Léto	Podzim
Srážky	19	24	36	21
Odtok	27	37	19	17

Roční průměr srážek v povodí Labe v Děčíně se podle údajů z tab. 1 prakticky nezměnil. Zřejmě je zvětšení zimních srážek a pokles jarních srážek. Změny odtoku jsou v relativním měřítku větší, vzestup zimního odtoku je v protívážce k poklesům v ostatních sezonách.

Při posuzování relativních odchylek průměrných sezonních srážek i odtoků je třeba mít na paměti, že jsou vztahovány ke značně rozdílným hodnotám dlouhodobých průměrů, takže jejich podíl na odchylkách ročních průměrů je dosti odlišný. Ukazuje to tab. 2, v níž jsou uvedeny procentní podíly průměrů sezonních srážek a sezonních odtoků na ročním průměru.

Ačkoli letní srážky převažují nad srážkami z ostatních sezon, je letní odtok jen polovinou odtoku jarního a přesahuje jej i podíl zimního odtoku z podstatně menších srážek.

Pro analýzu trendu a změn trendu v řadách ročních a sezonních srážek i odtoků jsme také použili statistickou analýzu pomocí programového prostředku metodicky popsaného v práci [9]. Aplikace CTPA umožňuje využít řady statistických testů, které posuzují například následující hypotézy: řada má normální rozdělení, členy řady jsou statisticky nezávislé, v řadě se vyskytuje změna průměru, řada vykazuje trend, v řadě se vyskytuje změna trendu. Pro ověření některých hypotéz lze použít více metodicky odlišných testů.

Pro testování jsme použili nejprve řady ročních výšek srážek a řady výšek srážek za výše definované sezony. Na hladině významnosti 0,05 nebyla zamítnuta hypotéza o normálním rozdělení a nezávislosti členů pro všechny testované řady. Statisticky významná změna průměru byla indikována u roční řady v roce 1991 a u zimní řady v roce 1993. Celkový trend roční řady je vzestupný o 0,187 mm/rok, u zimní řady o 0,174 mm/rok, statisticky významný je však pouze u zimní řady.

Výsledky pro řady odtoků jsou při použití hladiny významnosti neurčitější, jelikož neodpovídají normálnímu rozdělení. V řadě ročních hodnot existuje autokorelace. Použitý algoritmus indikoval změnu trendu v roce 1965 ze vzestupného na poklesový.

Výsledky provedených porovnání lze shrnout do závěru, že kromě vzestupu zimního odtoku jsme nenalezli žádné změny, jež by prokazovaly významnější vliv oteplování na dlouhodobé srážky a odtok. Čtyřicetileté průměry srážek a odtoků nevybočily z rozmezí, v kterém se vyskytovaly v období, kdy se teplota vzduchu dlouhodobě intenzivně nezvyšovala.

POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ SRÁŽEK A ODTOKŮ NA ÚZEMÍ ČR

Proměnlivosti změn srážek a odtoků na území ČR jsme posoudili podle odchylek průměrů z období 1981–2019 od průměrů z období 1961–1980. Volba uvedených období byla ovlivněna požadavkem na dostupná data – synchronní pozorování srážek a odtoků ve vodoměrných stanicích. Posoudili jsme průměry z celých roků, sezon a částečně i z jednotlivých měsíců. Pro zpracování jsme vybrali soubor povodí, který umožňuje posoudit regionální odlišnosti změn srážek i odtoků. V první etapě zpracování byla použita data ze závěrových vodoměrných stanic velkých povodí, pak bylo zpracování doplněno o stanice charakterizující proměnlivost podmínek od horských povodí po nížinné.

POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ SRÁŽEK A ODTOKŮ 1981–2019 A 1961–1980 PRO POVODÍ LABE V DĚČÍNĚ

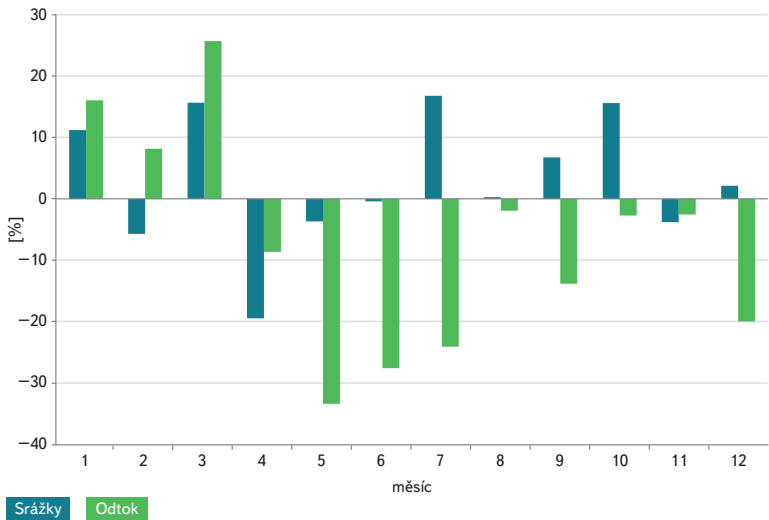
Relativní odchylky ročních a sezonních srážek a odtoků na povodí Labe v Děčíně [%] v období 1981–2019 od průměrů z řady 1961–1980 jsou uvedeny v tab. 3. Při porovnání s tab. 2 sledujeme, že podstatné odchylky jsou v obou tabulkách podobné, větší rozdíl je v tab. 3 v poklesu podzimního odtoku a zřejmě ovlivňuje větší – i když statisticky nevýznamný – pokles ročního průměru.

Porovnání relativních změn výšek srážek a odtoků [%] v jednotlivých měsících pro povodí Labe v Děčíně ukazuje obr. 6. U srážek je patrné souvislé zvýšení od prosince po březen s výjimkou února. Pozornost zasluhuje, že po zvětšení v březnu následuje pokles srážek v dubnu. Poklesy odtoku od května do září lze přisoudit jednak zásobám vody na konci zimy a menším srážkám na jaře, jednak intenzivnější evapotranspiraci ve vegetačním období vlivem zvýšení teploty vzduchu.

Tab. 3. Relativní odchylky ročních a sezonních srážek a odtoků na povodí Labe v Děčíně [%] v období 1981–2019 od průměrů z řady 1961–1980

Tab. 3. Relative deviations of annual and seasonal precipitation and runoff in the Elbe river basin in Děčín [%] in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

	Rok	XII–II	III–V	VI–VIII	IX–XI
Srážky	−0,2	6,53	−2,38	−3,09	0,89
Odtok	−1,93	8,05	−3,52	−14,49	−6,88



Obr. 6. Relativní odchylky průměrných výšek srážek a výšek odtoku v jednotlivých měsících pro povodí Labe v Děčíně v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 6. Relative deviations in average precipitation heights and runoff heights in individual months for the Elbe river basin in Děčín in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

Porovnání průměrů srážek a odtoků 1981–2018 a 1961–1980 ve velkých povodích

V další etapě výpočtů jsme zpracovali data z povodí vodoměrných stanic, které jsou blízko závěrovým profilům větších povodí vodních toků uvedených v tab. 4. Relativní odchylky průměrných ročních a průměrných sezonních srážek v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 jsou obsahem tab. 5, zobrazeny jsou na obr. 7 a 8.

Na obr. 7 je patrné, že na většině povodí se v období 1981–2019 v porovnání s předcházejícím obdobím 1961–1980 průměry ročních srážek zvětšily o 2 % až 4 %, na povodí Ohře o 7,5 %. V povodí Labe nad Vltavou ve stanici Brandýs n. L. nepatrně a v povodí Odry znatelně průměry ročních srážek poklesly.

Obr. 8 a tab. 5 ukazují, že na zvětšení ročních srážek se podílely zejména vzestupy srážek v zimních a podzimních měsících, pouze v povodí Ohře a nepatrně v povodí Vltavy i srážky letní. Poklesy jarních srážek jsou významnější na povodí Labe a na povodí Odry. Letní srážky poklesly na povodí Odry i Moravy. Změny srážek na území ČR v době oteplování posuzované podle průměrných srážek na vybraných větších povodích jsou zřetelně odlišné v povodí v severní části území od povodí z jižní a západní části ČR.

Změny průměrných srážek z jednotlivých kalendářních měsíců uvedené v tab. 6 a znázorněné na obr. 9 dosahují v relativním měřítku větších hodnot než odchylky sezonních průměrů. Potvrzuje se kolísání změn v sousedních měsících v průběhu roku. Lednové průměry (kromě Labe a Odry) vykazují vzestupy i nad 20 %, v únoru převažují mírné poklesy s výjimkou Bečvy, kde byl zaznamenán nevýznamný nárůst. V březnu se ve všech povodích srážky zvětšily nebo nezměnily

Tab. 4. Sestava povodí vodoměrných stanic reprezentující velká povodí v ČR
 Tab. 4. List of river basins of gauging stations representing large river basins in the Czech Republic

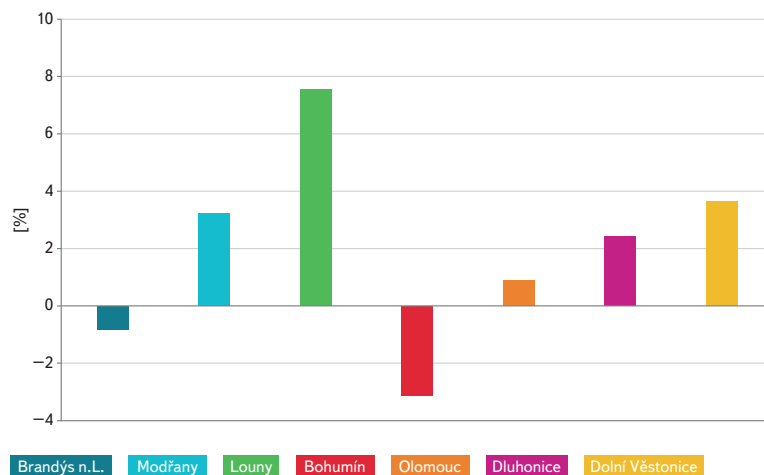
	Vodní tok	Stanice	Číslo stanice	Plocha povodí km ²
Čechy	Labe	Brandýs n. L.	104000	13 109
	Vltava	Praha Modřany a Chuchle	200000	26 371
	Ohře	Louny	219000	4 962
Morava	Odra	Bohumín	294000	4 665
	Morava	Olomouc	367000	3 324
	Bečva	Dluhonice	390000	1 593
	Dyje	Dolní Věstonice	479000	11 744

a od dubna do června většinou poklesly. Červencový vzestup (kromě Odry a Moravy) je následován nepatrnými a malými nesourodými změnami v srpnu. V září došlo k nárůstu srážek ve všech povodích, na Moravě i nad 20 %, zvýšení v říjnu je patrné zejména na Vltavě a Ohři. V listopadu (kromě Ohře) je typický pokles pod 10 %, v prosinci vzestup o 6 % až 10 %, v Brandýse nad Labem jen o 1 %.

Tím, že změny srážek v sousedních měsících mají zejména ve dvojicích leden–únor, březen–duben, červen–červenec a listopad–prosinec převažující opačný trend, vyrovnávají se změny sezonních průměrů vyjádřené v procentech do podstatně menších hodnot. Pro oblast zemědělství je nepříznivý soustavný pokles srážek v období duben až červen.

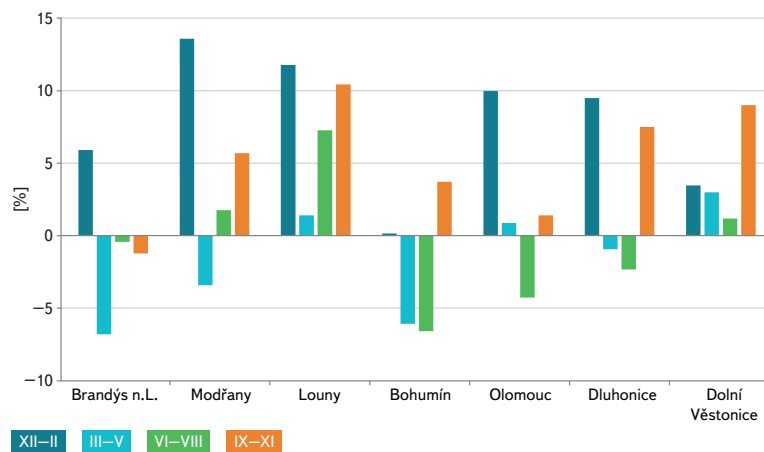
Odchytky ročních průměrů průtoků v tab. 7 a na obr. 10 ukazují, že průměrné průtoky v období 1981–2019 byly ve všech porovnávaných stanicích menší než v období 1961–1980, v relativním měřítku až o 17 % ve stanici Bohumín na Odře, nejméně o cca 2 % v Lounech na Ohři.

Relativní odchylky sezonních průměrných průtoků jsou v tab. 8 a na obr. 11. V zimním období nepoklesly průměry průtoků jen na Labi v Brandýse nad Labem a v Lounech na Ohři. V jarním a v letním období se snížily průtoky ve všech sledovaných stanicích, nejvíce na Odře v Bohumíně – na jaře o 17 % a v létě o cca 30 %. Podzimní průtoky se zmenšily na Labi, Vltavě, Odře a Moravě (zde výrazněji – o cca 18 %), naopak největší nárůst byl zaznamenán na Ohři.



Obr. 7. Relativní odchylky ročních průměrů srážek na povodí vodoměrných stanic v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 7. Relative deviations of annual precipitation averages in the catchment area of gauging stations in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



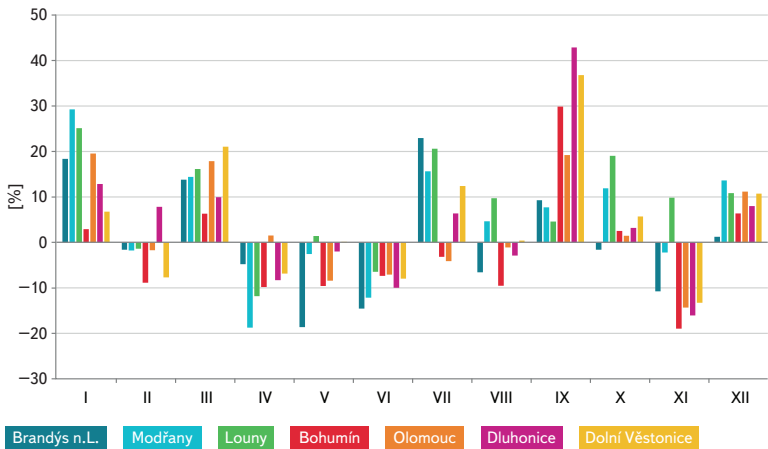
Obr. 8. Relativní odchylky sezonních průměrů srážek na povodí vodoměrných stanic v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 8. Relative deviations of seasonal average precipitation in the catchment area of gauging stations in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

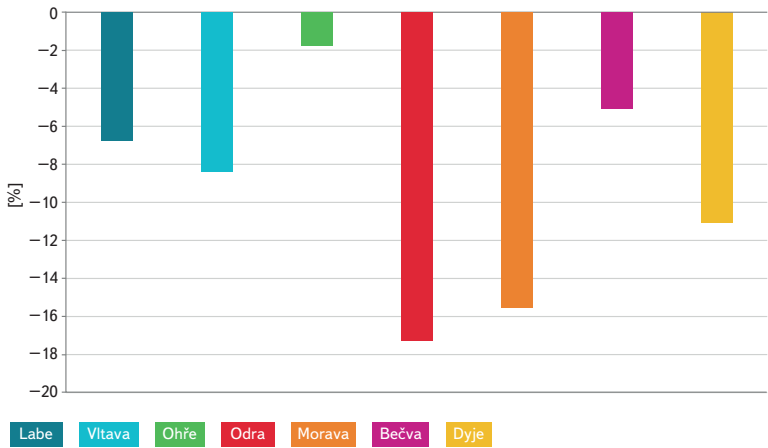
Tab. 5. Relativní odchylky průměrných ročních a průměrných sezonních srážek v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v %, poklesy jsou zvýrazněny

Tab. 5. Relative deviations of average annual and average seasonal precipitation in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 in %, decreases are highlighted

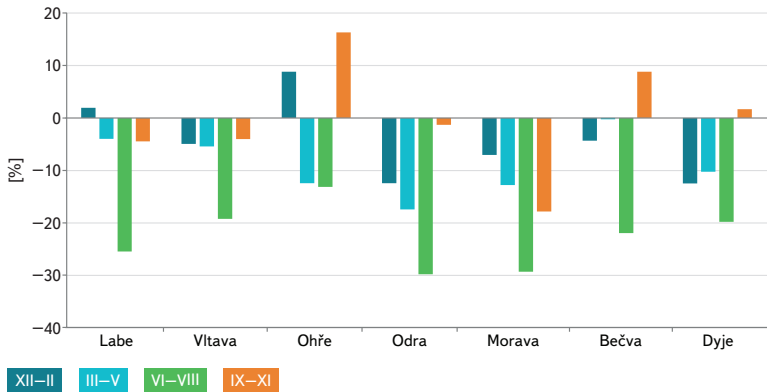
Povodí	Stanice	Rok	XII–II	III–V	VI–VIII	IX–XII
Labe	Brandýs n. L.	-0,84	5,90	-6,81	-0,43	-1,22
Vltava	Praha Modřany	3,22	13,59	-3,41	1,76	5,69
Ohře	Louny	7,55	11,77	1,39	7,26	10,43
Odra	Bohumín	-3,13	0,14	-6,07	-6,60	3,71
Morava	Olomouc	0,91	9,99	0,87	-4,27	1,39
Bečva	Dluhonice	2,42	9,48	-0,93	-2,34	7,50
Dyje	Dolní Věstonice	3,66	3,46	2,99	1,18	9,01



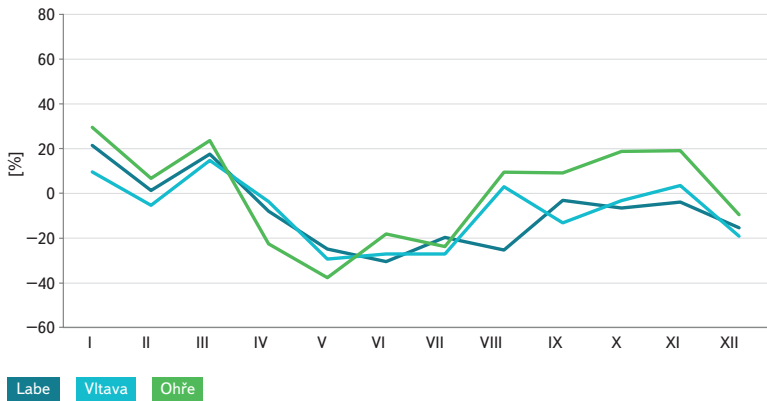
Obr. 9. Relativní odchylky měsíčních průměrů srážek na povodí vodoměrných stanic v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980
Fig. 9. Relative deviations of monthly precipitation averages in the catchment area of gauging stations in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



Obr. 10. Relativní odchylky průměrných ročních průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980
Fig. 10. Relative deviations of average annual flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



Obr. 11. Relativní odchylky sezonních průměrných průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980
Fig. 11. Relative deviations of seasonal average flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



Obr. 12. Relativní odchylky měsíčních průměrných průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 – povodí v Čechách
Fig. 12. Relative deviations of monthly average flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 – river basins in Bohemia

Relativní odchylky průměrných měsíčních průtoků z jednotlivých měsíců v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v % jsou uvedeny v tab. 8.
Obr. 12 ukazuje, že změna sezonního rozložení průtoků na Ohři je odlišná od povodí Vltavy i Labe, změny pro moravské vodní toky se výrazně odlišují jen v září (viz obr. 13).

Tab. 6. Relativní odchylky průměrných měsíčních srážek v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v %
Tab. 6. Relative deviations of average monthly precipitation in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 in %

Vodní tok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Labe	18,38	-1,65	13,80	-4,82	-18,67	-14,62	22,92	-6,60	9,25	-1,63	-10,82	1,20
Vltava	29,26	-1,83	14,39	-18,80	-2,61	-12,18	15,62	4,64	7,70	11,87	-2,23	13,63
Ohře	25,10	-1,40	16,12	-11,87	1,36	-6,48	20,62	9,69	4,56	19,02	9,82	10,81
Odra	2,90	-8,91	6,27	-9,85	-9,64	-7,40	-3,19	-9,60	29,88	2,52	-18,99	6,32
Morava	19,54	-1,77	17,85	1,48	-8,46	-7,13	-4,14	-1,14	19,21	1,41	-14,36	11,14
Bečva	12,86	7,82	9,90	-8,32	-2,02	-10,04	6,35	-2,95	42,91	3,17	-16,09	7,98
Dyje	6,71	-7,73	21,06	-6,89	0,11	-8,00	12,37	0,38	36,80	5,66	-13,32	10,71

Tab. 7. Relativní odchylky průměrných ročních průtoků a průměrných sezonních průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v %

Tab. 7. Relative deviations of average annual and average seasonal flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 in %

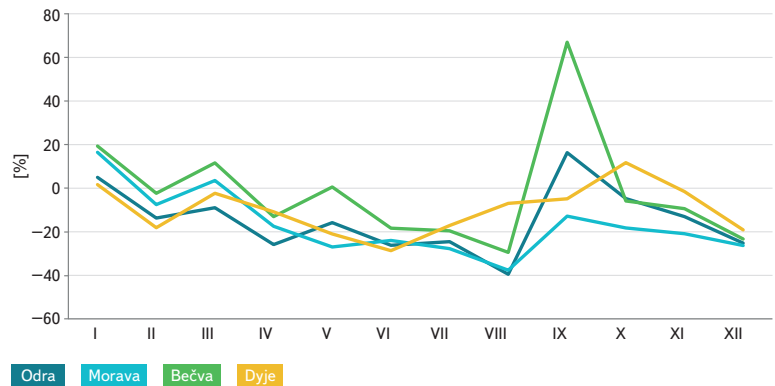
Povodí	Stanice	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
Labe	Brandýs n. L.	–6,79	1,94	–3,98	–25,42	–4,43
Vltava	Praha Modřany	–8,36	–4,96	–5,44	–19,20	–4,03
Ohře	Louny	–1,76	8,82	–12,44	–13,14	16,30
Odra	Bohumín	–17,26	–12,43	–17,42	–29,76	–1,28
Morava	Olomouc	–15,53	–7,04	–12,77	–29,28	–17,82
Bečva	Dluhonice	–5,10	–4,31	–0,23	–21,94	8,81
Dyje	Dolní Věstonice	–11,08	–12,49	–10,25	–19,78	1,66

Proměnlivost změn průměrných srážek a odtoků v dílčích povodích

V další etapě zpracování jsme se zaměřili na proměnlivost změn průměrných srážek ve 41 dílčích povodích. Hodnocení jsme omezili na roční a sezonní průměry. Proměnlivost změn ročních a sezonních průměrů srážek ukazuje obr. 14.

Mírný pokles ročních srážek na dílčích povodích, která jsou součástí povodí Labe nad Vltavou, je obdobný u většiny stanic, a to cca 2 % až 3 %. Na povodích z hor (Les Království – Krkonoše, Týniště n. O. – Orlické hory, Železný Brod – Jizerské hory) jsou změny průměrů srážek zanedbatelné. Ve skupině povodí ve východních a středních Čechách, jež vytvářejí souvislý pás od Loučné až po Výrovku, byl zjištěn pokles srážek v rozmezí od 1,9 % po 3,1 %. Vybočuje pouze výsledek pro Doubravu ve Žlebech. Pokles srážek v závěrovém profilu Brandýs nad Labem o 0,88 % je tedy superpozicí nezměněných srážek v horských oblastech a poklesů v dílčích povodích, která leží v menší nadmořské výšce.

V dílčích povodích Vltavy jsou ve většině stanic vzestupy průměrů ročních srážek cca o 3 % až 4 %, s výjimkou povodí Malše v Řimově. Na Ohři nárůst srážek klesá od nejvyšší hodnoty v Karlových Varech téměř o 10 % směrem po toku. Podle údajů pro Bílinu v Trmicích a Ploučnici jde o pokles směrem k severu. Poklesy průměrů ročních srážek o cca 2 % až 4 % v povodí Odry jsou



Obr. 13. Relativní odchylky měsíčních průměrných průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 – povodí na Moravě

Fig. 13. Relative deviations of monthly average flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 – river basins in Moravia

podobné ve všech dílčích povodích. V povodí Moravy a Dyje je většinou zaznamenán nárůst cca o 2 % až 3 %, vybočuje zejména údaj pro povodí Jihlavy po stanici Ptáčov (cca 7 %).

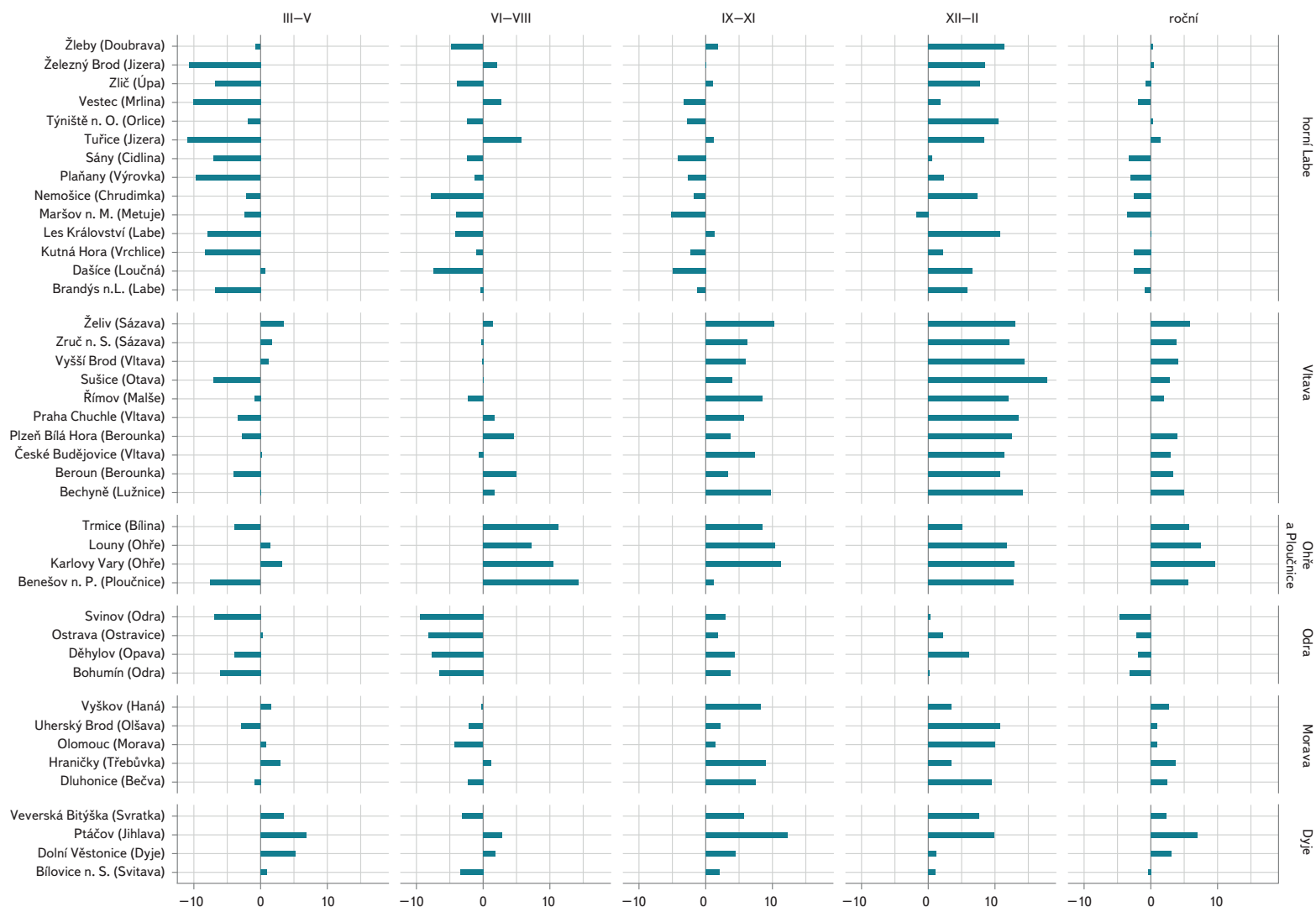
V zimním období prosinec až únor se srážky s jedinou výjimkou zvýšily ve všech povodích. V Čechách je nárůst větší v povodí Vltavy, Berounky a Ohře i Ploučnice, vesměs spadá do intervalu 10 % až 15 %. V období března až květen zřetelně poklesly srážky na většině přítoků Labe nad Vltavou a také v povodí Odry a Dyje. Změny srážek v období červen až srpen se většinou pohybují, kromě vzestupu v povodí Ohře a Ploučnice, v rozmezí –5 % až +2 %, jen v povodí Odry, Loučné a Chrudimky jsou patrné poklesy v rozmezí do –10 %. Rozložení změn srážek za měsíce září až listopad ukazuje podstatný rozdíl mezi nevelkými poklesy v povodí Labe nad Vltavou a vzestupy v dílčích povodích Vltavy, Berounky a Ohře, a to v rozmezí 3 % až 10 %. Vzestupy v povodí Odry a horní Moravy jsou menší, jen do 5 %.

V souhrnu lze konstatovat, že pouze v zimním období v povodí Vltavy se srážky zvýšily mírně nad 10 %, zatímco v jarním období byl zaznamenán stálý pokles srážek v povodí Labe. Změny v letním období jsou vesměs malé, soustavně se zvyšovaly srážky v povodí Ohře a mírně poklesly v povodí Odry. Na podzim srážky v povodí Labe mírně poklesly, v povodí Vltavy a v povodí Ohře se zvýšily. Výsledky ukazují, že relativní odchylky průměrů sezonních srážek jsou většinou podstatně větší než odchylky průměrů ročních. Rozdíly ve změnách ročních průměrů jsou výsledkem poklesů jarních a podzimních srážek v povodí Labe a Odry a vzestupu podzimních srážek v povodí Vltavy.

Tab. 8. Relativní odchylky průměrných měsíčních průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v %

Tab. 8. Relative deviations of average monthly flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 in %

Vodní tok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Labe	21,47	1,36	17,61	–7,89	–24,78	–30,43	–19,67	–25,24	–3,07	–6,47	–3,86	–15,34
Vltava	9,61	–5,31	14,77	–3,57	–29,30	–26,99	–27,06	2,95	–13,12	–3,22	3,61	–19,12
Ohře	29,55	6,79	23,69	–22,49	–37,61	–18,10	–23,72	9,51	9,20	18,74	19,09	–9,52
Odra	4,90	–13,77	–8,98	–25,85	–15,80	–26,23	–24,56	–39,54	16,27	–4,83	–13,04	–25,27
Morava	16,43	–7,60	3,45	–17,45	–26,98	–23,97	–27,81	–37,65	–12,90	–18,23	–20,97	–26,30
Bečva	19,27	–2,36	11,56	–13,08	0,53	–18,39	–19,59	–29,49	66,95	–5,88	–9,47	–23,34
Dyje	1,67	–18,14	–2,36	–10,91	–21,00	–28,69	–17,16	–6,99	–4,89	11,68	–1,54	–19,11



Obr. 14. Odchytky ročních a sezonních průměrů srážek v dílčích povodích v ČR v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 14. Deviations of annual and seasonal averages of precipitation in sub-basins in the Czech Republic in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

Proměnlivost změn ročních a sezonních průměrů odtoků ukazuje obr. 15.

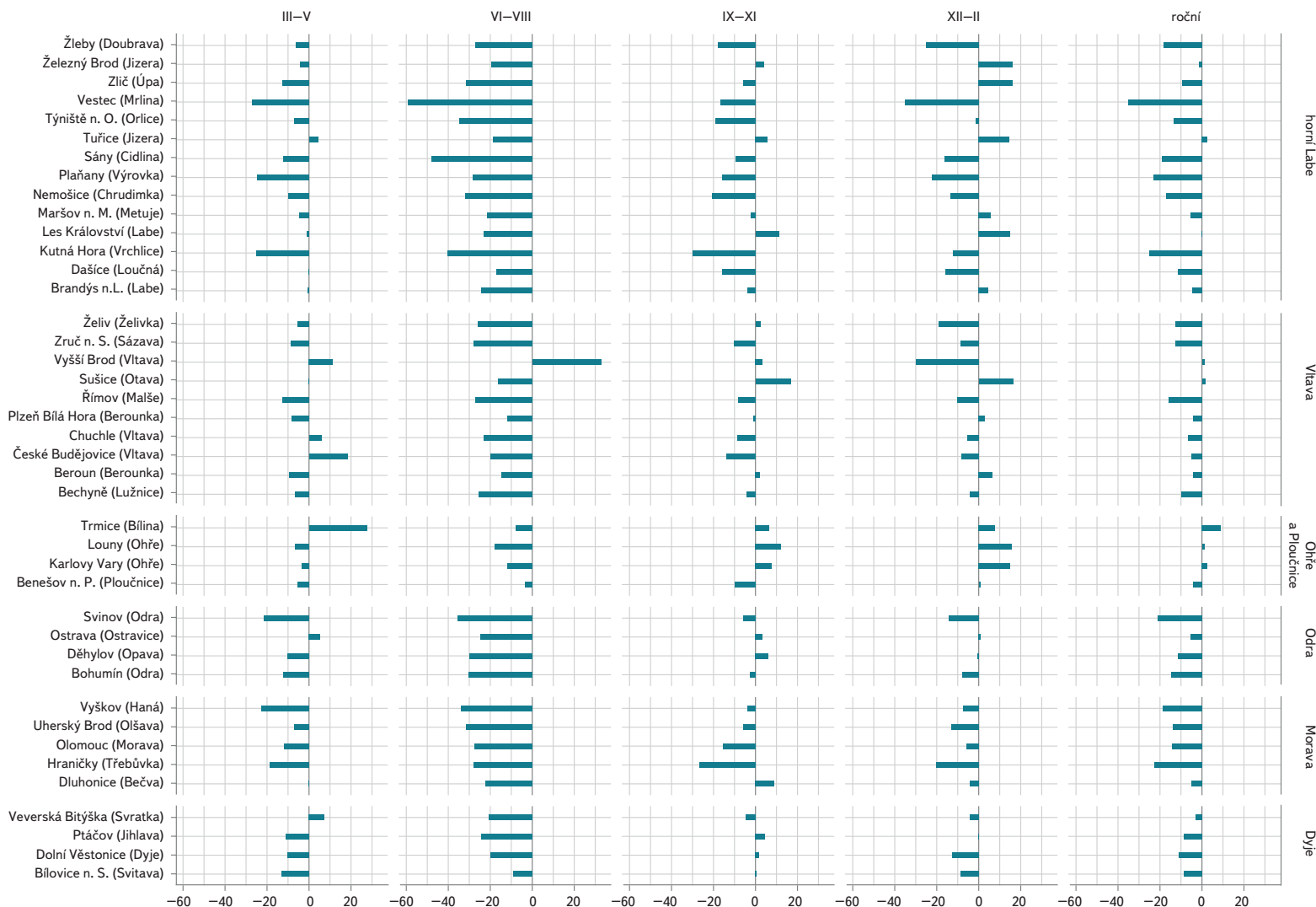
Pro horská povodí horního Labe a Jizery jsou pro roční průměry charakteristické velmi malé změny. Poklesy u přítoků Labe se od hodnoty cca 5 % až 10 % na horním toku zvětšují až do úrovně 25 % pro přítoky středního toku Labe, maximální pokles cca 35 % je vyhodnocen v povodí Mrliny. V povodí Vltavy jsou ve stanicích v oblasti Šumavy změny průtoků velmi malé. Při porovnání výsledků pro Sázavu, Lužnici, Berounku a Ohři shledáme, že směrem od východu na západ se poklesy mění z hodnot mírně převyšujících 10 % až na prakticky nezměněný průtok Ohře. Vzestup v povodí Bíliny kvůli nejistotě eliminace ovlivnění průtoků v této úvaze nevyužíváme. Ve stanicích z povodí Odry, Moravy a Dyje se také ukazuje jen velmi malý pokles průtoků v horských povodích (Ostravice, Bečva). Větší povodí, a to i v případě, že jsou jejich součástí horské oblasti, charakterizují zřetelné poklesy v rozmezí cca 10 % až 15 %, výjimkou je pouze Odry ve Svinově.

V období od prosince do února se v horských povodích a v povodí Ohře průměry zvyšují až do úrovně cca 15 %. Naopak v oblasti přítoků středního Labe průtoky klesají v průměru cca o 15 %, v povodí Odry, Moravy a Dyje pak většinou o 10 %. V jarním období březen až květen se průtoky snížily ve většině stanic, nepatrně v horských povodích, běžně v rozmezí do 10 %, v oblasti přítoků

středního Labe však i o více než 20 %. Letní průtoky za období červen až srpen poklesly ve všech povodích, v povodí Labe i o více než 30 % (nejvíce o 59 % ve Vestci na Mrlině), v povodí Odry a Moravy běžně o cca 30 %, v povodí Vltavy většinou o cca 26 %. Výsledky z období od září po listopad jsou rozkolísanější než v ostatních sezonách. Oblastí s konstantními poklesy o více než 15 % jsou přítoky středního Labe, v ostatních stanicích byly zjištěny poklesy do 10 %. Dochází ke zvýšení průtoků, avšak pouze ojediněle dosahují více než 10 %.

POROVNÁNÍ ZMĚN SRÁŽEK A ODTOKŮ

Obr. 16, na němž jsou zaznamenány odchytky průměrných ročních srážek a odchylek průměrných ročních odtoků v měřítku srážkových a odtokových výšek na povodí v mm, ukazuje, že poklesy odtoku vykazují volnou závislost na změně srážek. Regresní vztah mezi změnou srážek dP a změnou odtoku dR je znázorněn na obr. 17. Nulové změně srážek při oteplení v jednotlivých povodích, jež se pohybuje v rozmezí 0,68 až 0,94 °C, odpovídá podle regresního vztahu pokles odtoku cca 30 mm/rok.



Obr. 15. Relativní odchylky průměrných ročních a sezonních průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 15. Relative deviations of average annual and seasonal flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

Vztah mezi zvýšením teploty vzduchu a změnou odtoku v jednotlivých povodích je velmi volný, charakterizuje jej koeficient determinace 0,16.

Pro rámcový odhad poklesu odtoku vlivem zvýšení teploty vzduchu v období 1981–2019 jsme použili výpočet vycházející z předpokladu, že v každém ze sledovaných povodí je průměrný dlouhodobý územní výpar úměrný dlouhodobé průměrné srážce. Podle poměru výpar/srážka určeného z období 1961–1980 jsme vypočetli odhad výparu pro srážky z období 1981–2019. Když od něj odečteme hodnotu územního výparu, který je dán jako rozdíl pozorovaných srážek a pozorovaného odtoku, získáme přibližný odhad části poklesu odtoku, který lze přisoudit vlivu oteplení. Výsledky tohoto výpočtu na obr. 18 ukazují, že vliv oteplení se ve sledovaných povodích liší, a to v dosti širokém rozmezí. Průměrná hodnota poklesu odtoku vlivem oteplení je 27 mm.

ZÁVĚR

Na základě porovnání průběhu čtyřicetiletých průměrů srážek na povodí Labe v Děčíně a výšek odtoku z tohoto povodí za období 1951–2019 lze konstatovat, že po roce 1980 nenastaly žádné změny vybočující z kolísání v předcházejícím

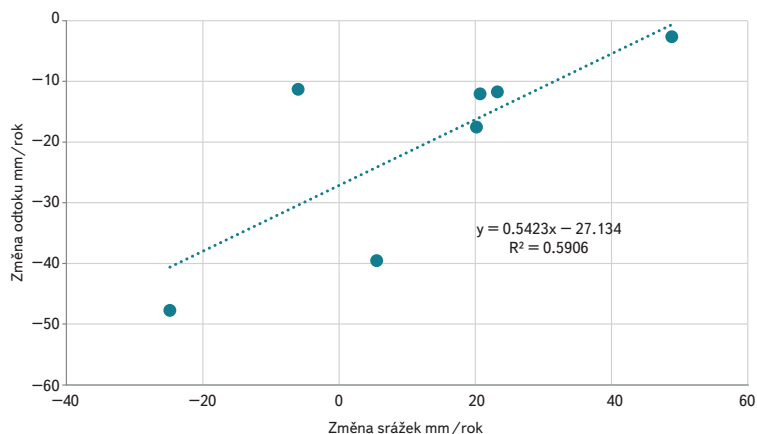
období. Platí to pro průměry z celých let i pro průměry ze čtyř ročních sezon. Obdobný poznatek platí i pro kolísání čtyřicetiletých klouzavých průměrů ročních a sezonních výšek odtoku z uvedeného povodí s výjimkou vzestupu zimních odtoků.

Při porovnání možných změn srážek a odtoku v období oteplování v sedmi větších povodích Čech a Moravy se ukázalo, že se v období 1981–2019 v porovnání s předcházejícím obdobím 1961–1980 průměry ročních srážek ve čtyřech povodích zvýšily o 2 % až 4 %, v povodí Ohře o 7,5 %. V povodí Labe nad Vltavou a v povodí Odry naopak průměry ročních srážek klesly, a to o cca 1 %, resp. 3 %. Na zvýšení ročních srážek se podílely zejména vzestupy srážek v zimních a podzimních měsících, neboť ve třech povodích nastaly znatelné poklesy jarních, ve dvou povodích letních srážek. Průměrné průtoky v období 1981–2019 byly ve všech porovnávaných stanicích menší než v období 1961–1980, v relativním měřítku klesly, vyjma povodí Bečvy a Ohře, o 5 % až 17 %. Změny výšek odtoku jsou regionálně rozdílné a dosahují hodnot, jež ovlivňují průtokový režim. V ročním chodu poklesly průtoky v českých povodích od dubna do srpna či září. V moravských povodích začíná pokles také v dubnu, prohlubuje se až do srpna, avšak v podzimních měsících se průběhy dosti odlišují.



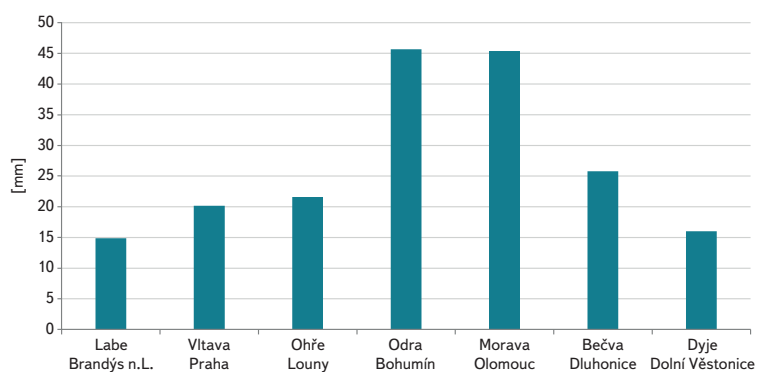
Obr. 16. Odchytky průměrných ročních srážek a průměrných ročních výšek odtoku v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 16. Deviations of average annual precipitation and average annual runoff heights in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



Obr. 17. Korelační vztah změny odtoku v závislosti na změně srážek pro povodí z obr. 16

Fig. 17. Correlation relation of the deviations of runoff depending on the deviations of precipitation for the river basin from Fig. 16



Obr. 18. Odhad podílu oteplení na poklesu průměrného ročního odtoku v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 18. Estimation of the contribution of warming in the decrease of the average annual runoff in the period 1981–2019 compared to the period 1961–1980

Je vhodné zopakovat, že uvedené údaje jsou charakteristické pro průměry za 40 let, kdy se s mírným kolísáním teplota zvyšovala, nikoli pro poměry na konci tohoto období.

Souhrnné zpracování dat ze 41 dílčích povodí ukázalo, že charakter změn zjištěný na základě dat ze sedmi velkých povodí je obdobný u většiny dílčích povodí, která do nich patří. Výjimkou jsou relativní změny průtoků v povodích nacházejících se v horských oblastech, jež jsou velmi malé.

Odhad podílu oteplení na pokles průměrné výšky odtoku, stanovený na základě výše uvedených orientačních výsledků, se pohybuje v rozmezí 15 mm až 45 mm, v průměru tedy 30 mm ročně. Jsou to však jen orientační výsledky. Pro spolehlivější odhady bude třeba použít složitější metody popisující vztahy mezi bilančními veličinami.

Literatura

- [1] *Hydrologické poměry ČSSR*. Díl III. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1970, 305 s.
- [2] NOVICKÝ, O., KOLÁŘOVÁ, S., KAŠPÁREK, L. Charakteristiky průměrných denních průtoků a maximálních průtoků ve vodoměrných stanicích v Čechách. *Sborník prací ČHMÚ*. 1992, sv. 41, 136 s.
- [3] BUDÍK, L., ŠERCL, P., KUKLA, P., LETT, P., PECHA, M. Odvození základních hydrologických údajů za referenční období 1981–2010. *Sborník prací ČHMÚ*. 2018, sv. 65, 60 s. ISBN 978-80-87577-78-3.
- [4] KOŽÍN, R., KAŠPÁREK, L. Extrémní víceletá hydrologická sucha v povodí Labe. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2021, 63(3), s. 28–32. ISSN 0322-8916.
- [5] NOVOTNÝ, J. Dvě stoleté řady průtokové na českých řekách. *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu Československé socialistické republiky*. 1963, sv. 2, 40 s.
- [6] KAŠPÁREK, L. Dlouhodobé kolísání průtoků Vltavy v Praze. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2017, 59(5), s. 25–30. ISSN 0322-8916.
- [7] PEKÁROVÁ, P. *Dynamika kolísání odtoku světových a slovenských tokov*. Bratislava: VEDA Bratislava, 2003, 222 s. ISBN 80-224-0780-1.
- [8] KVĚTŮN, V., ŽÁK, M. Výskyt suchých období v pražském Klementinu. *Meteorologické zprávy*. 2021, 74, s. 45–55.
- [9] *Identifikace změny v časové řadě*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 1994. 79 s. Práce a studie, sešit 24.

Autoři

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.

✉ ladislav.kasperek@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-8394-9136

Ing. Roman Kožín

✉ roman.kozin@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5773-6567

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.01.002

CHANGES IN PRECIPITATION AND RUNOFF IN RIVER BASINS IN THE CZECH REPUBLIC DURING THE PERIOD OF INTENSE WARMING

KAŠPÁREK, L.; KOŽÍN, R.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: increasing air temperature – changes in atmospheric precipitation – changes in runoff from the river basin

The basic meteorological variables that affect the hydrological regime are atmospheric precipitation and air temperature. Both fluctuate not only in the short term and in the annual cycle, but also in the long term. Long-term changes in both of these variables have the character of periodic fluctuations around the mean values. Approximately since 1980, there has been a systematic increase in air temperature in the Czech Republic. The presented article provides information on how the climate fluctuations that this change brings affect the precipitation and runoff regime in our territory.

In the first part of the study, we used long-term observations of the Elbe flows in Děčín since 1851 and precipitation in its catchment area and compared the deviations in precipitation and runoff from the period after 1980 with the extremes of fluctuations in the previous period. Fluctuations in forty-year moving averages of annual and seasonal precipitation and annual and seasonal runoff, with the exception of an increase in winter runoff, did not deviate from the range in which they fluctuated in the period 1851–1980.

In the next part, we focused on the assessment of possible deviations in precipitation and runoff during the warming period in seven major river basins from different areas of the Czech Republic. In the period 1981–2019, compared to the previous period 1961–1980, the average annual precipitation in the four river basins increased by 2 % to 4 %, in the Ohře river basin by 7.5 %. In the Elbe (above junction with Vltava) river basin was the increase by about 1 %. In the Odra river basin the annual rainfall averages decreased by 3 %. The increase in annual precipitation was mainly due to increases in winter and autumn precipitation, with significant decreases in spring in three river basins and summer precipitation in two river basins. The average runoff in the period 1981–2019 were lower in all compared stations than in the period 1961–1980, on a relative scale by up to 17 % at the Bohumín (Odra river) station and at least about 2 % in Louny (Ohře river).

When comparing the results for Sázava, Lužnice, Berounka and Ohře, we found that from east to west the decreases of runoff slightly exceeded by 10 % to a practically unchanged runoff of Ohře.



Výskyt pesticidních látek v řece Punkvě

TAĀANA HALEŠOVÁ, JANA KONEČNÁ, MARTA VÁCLAVÍKOVÁ, PETR KARÁSEK, EVA NOVÁKOVÁ

Klíčová slova: Moravský kras — jakost vody — povrchová a podzemní voda — triaziny — azoly

SOUHRN

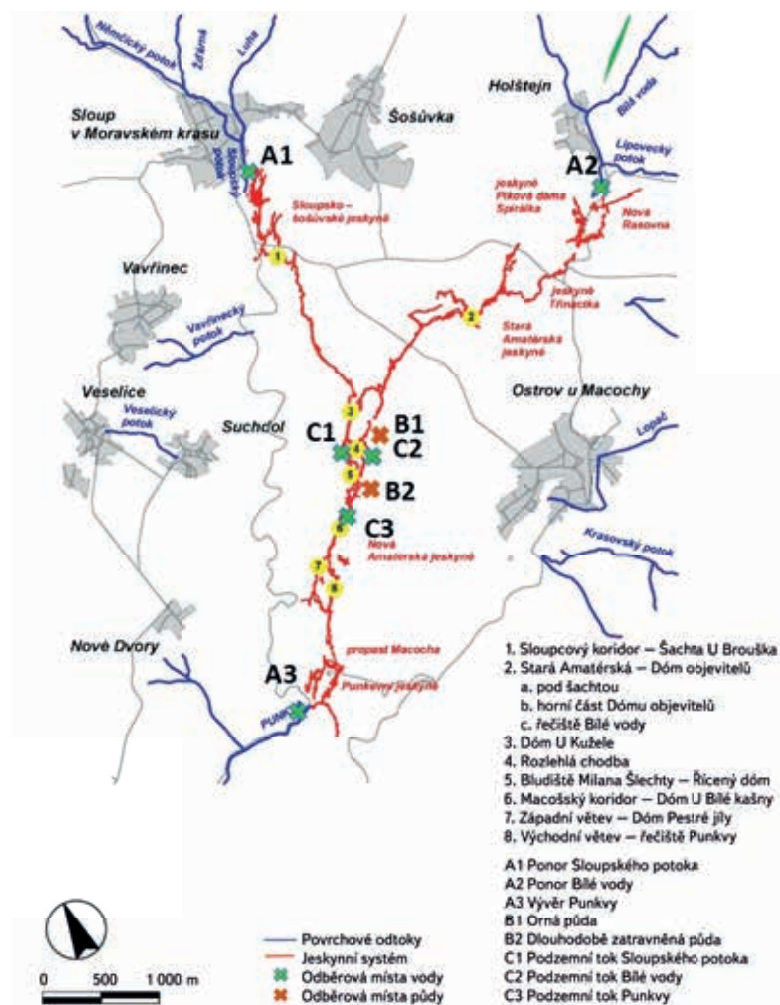
Moravský kras je nejrozsáhlejším a nejvíce zkrasovělým územím České republiky a jako takový patří mezi chráněné krajinné oblasti (CHKO). Krasová oblast zaujímá pruh devonských vápenců severně od Brna. Severní část Moravského krasu je odvodňována řekou Punkvou a jejími zdrojnicemi. Nachází se zde jeskynní systém Amatérské jeskyně, který s navazujícími jeskyněmi měří více než 40 km, což jej řadí k nejrozsáhlejším jeskynním systémům ve střední Evropě.

Navzdory přísným ochranným opatřením, jež platí na územích CHKO, byla v nedávné době v řece Punkvě a jejím povodí odhalena přítomnost znečišťujících a potenciálně rizikových látek. Zdroje tohoto znečištění se vyskytují jednak přímo na území CHKO Moravský kras, jednak v jeho povodí, a souvisejí s antropogenními aktivitami a využíváním krajiny. Článek je zaměřen na výskyt pesticidů — zejména triazinových a azolových a jejich polárních metabolitů. V roce 2020 byl na sledované lokalitě nalezen nový významný kontaminant, společný relevantní metabolit azolových pesticidů, 1,2,4-triazol. Tyto látky mohou mít fatální účinky nejen na endemické organismy, jež v Moravském krasu žijí, ale mohou také ohrozit lidské zdraví, jelikož zdejší podzemní vody jsou využívány jako zdroj pitné vody. Díky provedeným studiím se podařilo rozšířit ochranné zóny okolo jeskynního systému, a snížit tak negativní dopady zemědělské činnosti na zájmovém území.

ÚVOD

Moravský kras (MK) je rozlohou přes 92 km² největším a nejvýznamnějším krasovým územím v České republice. Každý kras představuje extrémně křehký ekosystém, který je vysoce citlivý na zásahy lidské činnosti a je jimi snadno ovlivňován, neboť vzhledem ke specifickým pedologickým a geologickým podmínkám dochází ke zrychlenému transportu živin a kontaminantů z půdy do podzemních vod [1]. Jedním z možných zdrojů znečištění krasových podzemních vod je zemědělská činnost [2]. Agrochemikálie, jako jsou pesticidy, mohou být transportovány z míst jejich přímé aplikace do zdejších potoků, řek a následně do podzemních vod v jeskyních. Tyto látky jsou fatálně nebezpečné nejen pro mikrobiotu a mikrofaunu, ale negativně ovlivňují i aktivitu a kondici vyšších živočichů [3]. Pro člověka jsou některé pesticidy karcinogenní, jiné mohou vyvolávat závažné zdravotní komplikace zahrnující metabolické poruchy, neurologické poruchy a alergické reakce [4].

Punkva je ponorná řeka v Moravském krasu a v České republice jde o nejdelší podzemní vodní tok. Protéká dnem propasti Macocha a soustavou Punkveních jeskyní, které spoluvytvářela. Punkva vzniká soutokem mnoha ponorných zdrojnic, jež protékají územím vápenců od severu a východu k jihu. Převážně jsou to spojené vody holštejské Bílé vody a Sloupského potoka, které se setkávají v labyrintu Amatérské jeskyně (obr. 1).



Obr. 1. Mapa Moravského krasu se zakreslenými odběrovými místy (zdroj Správa jeskyní ČR)
Fig. 1. Map of the Moravian Karst and monitored places (source Cave administration CR)

Vzhledem k tomu, že CHKO jsou obecně považovány za lokality prosté jakýchkoli cizorodých látek, nebyla v minulosti monitoringu pesticidů v Moravském krasu věnována pozornost. Kotyzová a Halešová [5] nicméně kontaminaci vod v dané oblasti těmito sloučeninami, ale i jinými xenobiotiky, potvrdily. Přestože nalezené koncentrace reziduí pesticidních látek nebyly natolik vysoké, aby svou toxicitou představovaly akutní nebezpečí pro vodní živočichy, jejich dlouhodobá akumulace, rostoucí rozsah používaných látek a vznik známých i neznámých metabolitů mateřských sloučenin by mohly mít za následek negativní dopady na necílové organismy a celý krasový ekosystém.

Cílem této studie bylo posoudit rozsah kontaminace řeky Punkvy ležící v Moravském krasu triazinovými a azolovými pesticidy.

MATERIÁL A METODIKA

Pro účely této studie byly v letech 2018 až 2020, v sezonním období od dubna do prosince, v pravidelném měsíčním intervalu, vždy druhý týden v měsíci, odebírány vzorky vod a půdy. Povrchové vzorky, tj. vzorky povrchové vody a půdy, byly odebírány vždy ve čtvrtek a podpovrchové vzorky, tj. voda podzemních vodních toků v jeskyních, následující den, tedy v pátek. Vzorky vod byly brány jako bodové vzorky. Vzorky půd byly připraveny jako směsný vzorek z každého místa, odběr byl proveden za pomoci půdní sondy z hloubky cca 30 cm. Odběry všech vzorků jsou akreditovány podle ČSN EN ISO/IEC 17025 [6].

Jak Punkva, tak Bílá voda a Sloupský potok, jejichž soutokem Punkva vzniká, patří mezi ponorné vodní toky. Vzorky vod byly tedy odebírány ze tří toků, a to jak z povrchového úseku (obr. 1 – odběrová místa A1, A2 a A3), tak z podzemního úseku (obr. 1 – odběrová místa v Amatérské jeskyni C1, C2 a C3) daného toku. Půdní vzorky byly odebírány na povrchu nad podzemním tokem vznikající řeky Punkvy (obr. 1 – odběrová místa B1 a B2). Odběrové místo B1 se nacházelo v úseku, kde byla v letech 2018 a 2019 povolena aplikace vybraných přípravků na ochranu rostlin (POR), odběrové místo B2 v úseku, který byl od roku 1998 trvale zatravněn. Všechna odběrová místa jsou sumarizována v tab. 1.

Ve vzorcích vod byl zkoumán výskyt téměř 400 pesticidních látek, ve vzorcích půdy přibližně 200 pesticidních látek. Pesticidní látky byly analyzovány na základě akreditovaných metod za využití citlivé a selektivní techniky LC-MS v laboratoři ALS Česká republika v Praze. Aplikované analytické metody jsou akreditovány podle ČSN EN ISO/IEC 17025 [6]. Trvalý trend vykazovaly triazinové a azolové pesticidy a jejich polární metabolity, proto jim byla následně věnována hlavní pozornost (tab. 2). Ostatní pesticidní látky se objevovaly v testovaných vzorcích spíše v důsledku sezonní aplikace POR a v dalším odběru již nebyly přítomny.

Tab. 1. Označení a popis odběrových míst
Tab. 1. Identification and description of sampling points

Typ vzorku	Odběrové místo	
	Popis	Označení
Povrchové toky	Ponor Sloupského potoka	A1
	Ponor Bílé vody	A2
	Vývěr Punkvy	A3
Půdy	Nad vznikajícím podzemním tokem Punkvy – orná půda	B1
	Nad vznikajícím podzemním tokem Punkvy – zatravněno	B2
Podzemní toky	Podzemní tok Sloupského potoka	C1
	Podzemní tok Bílé vody	C2
	Podzemní tok Punkvy	C3

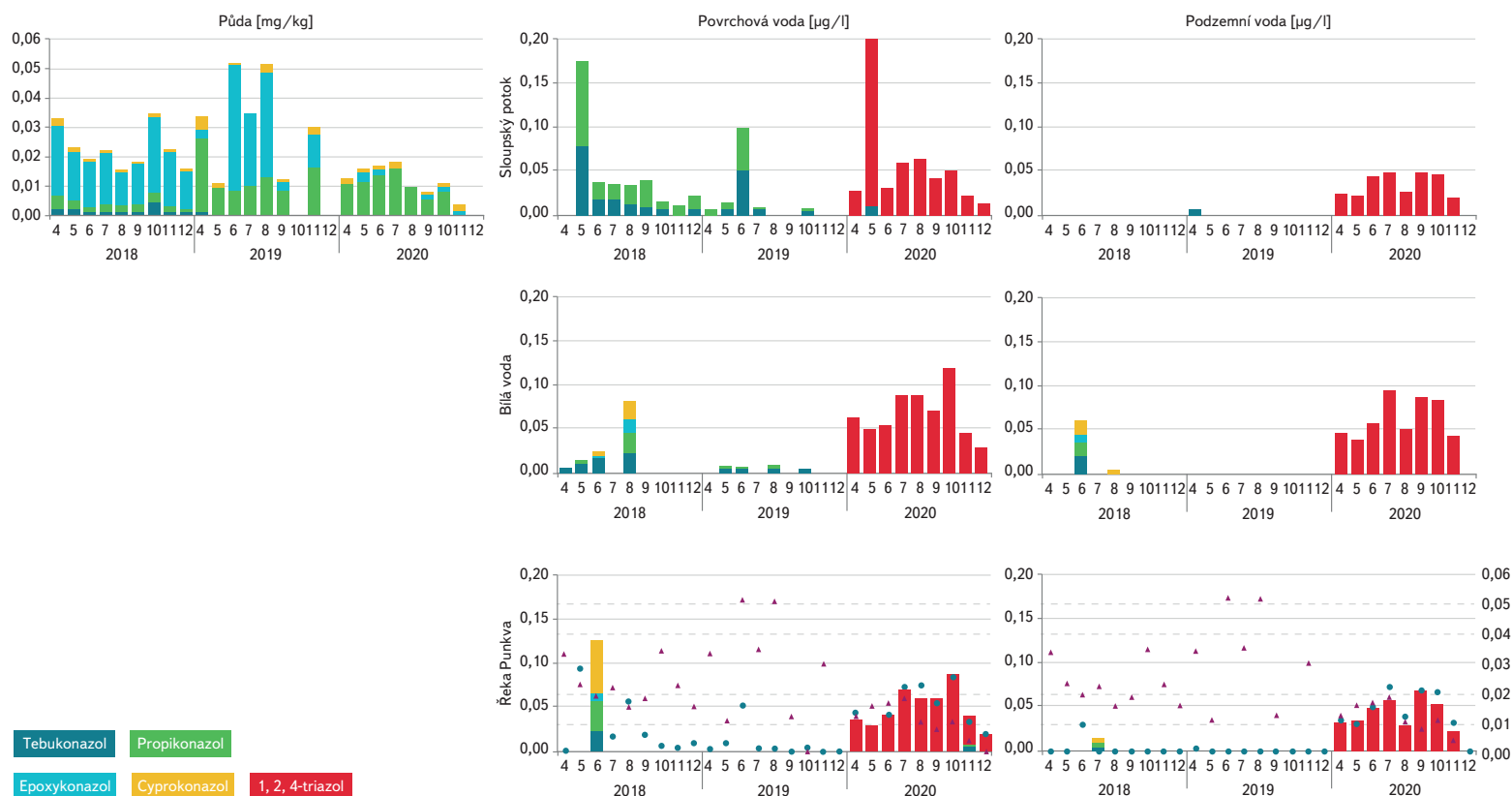
VÝSLEDKY A DISKUZE

Ve většině testovaných vzorků vod byly detekovány triazinové herbicidy a azolové fungicidy a jejich polární metabolity. Z triazinových pesticidů byly nejčastěji zastoupeny metabolity terbuthylazinu a atrazinu (obr. 2). Stojí za povšimnutí,

Tab. 2. Mateřské účinné látky ze skupiny azolových a triazinových pesticidů a jejich metabolity sledované v rámci studie
Tab. 2. Parent active substances of azole and triazine pesticide groups and their metabolites monitored in the study

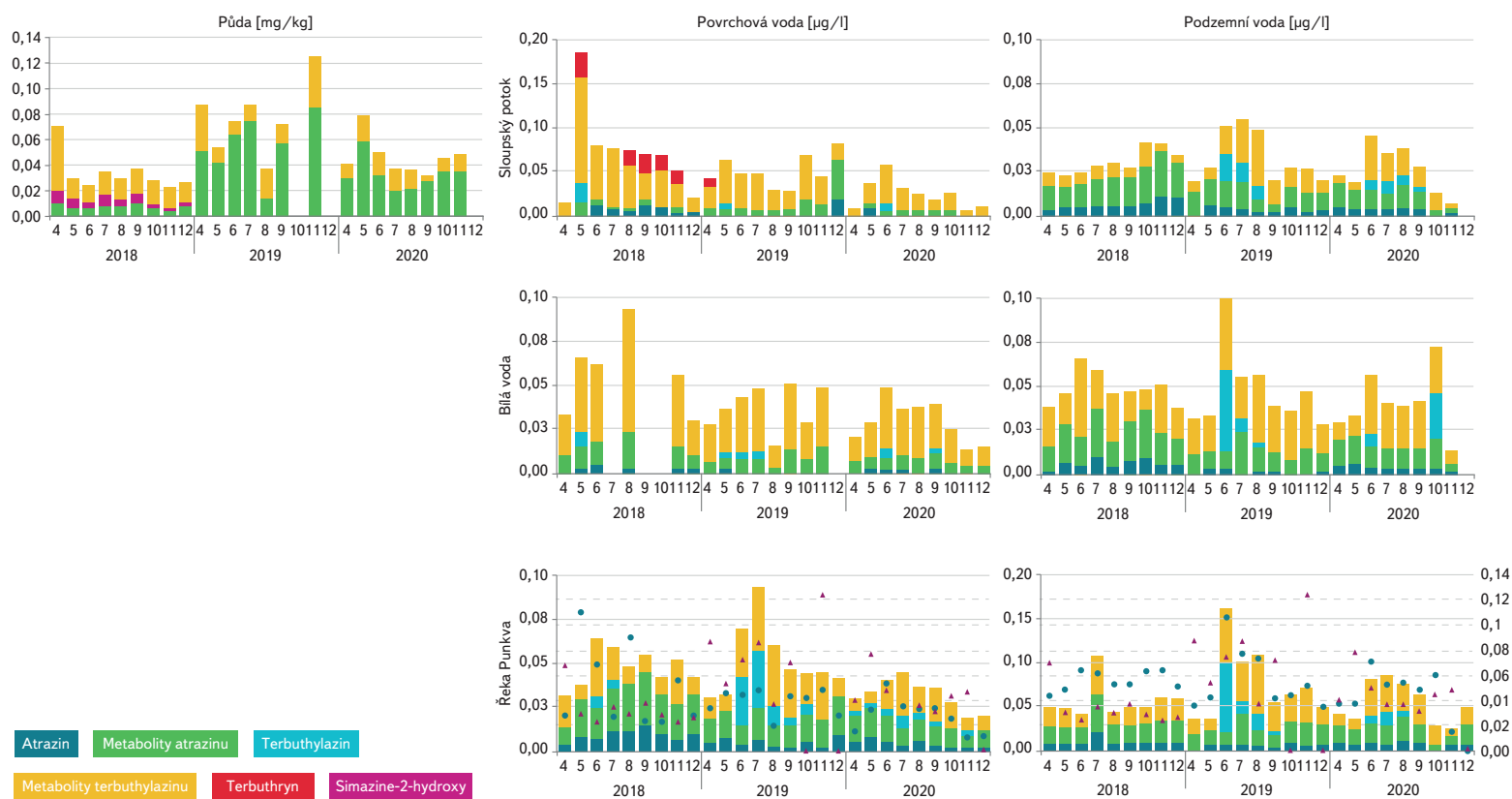
Skupina pesticidů	Mateřská látka	Metabolit
Azolové	Epoxykonazol	1, 2, 4-triazol
	Cyprokonazol	
	Tebukonazol	
	Propikonazol	
Triazinové	Atrazin	Atrazin-2-hydroxy
		Atrazin-desethyl
		Atrazin-desisopropyl
		Atrazin-desethyl desisopropyl
	Hexazinon	
	Metamitron	
	Terbuthylazin	Terbuthylazin-desethyl
		Terbuthylazin-desethyl-2-hydroxy
		Terbuthylazin-hydroxy
	Terbutryn	
	Simazin	Simazin-2-hydroxy

že v žádném z testovaných půdních vzorků nebyla detekována mateřská účinná látka atrazin ani terbuthylazin a pouze ve vzorku zemědělsky obhospodařované půdy B1 byly významněji zastoupeny metabolity atrazinu, především pak atrazin-2-hydroxy. Zakázaný atrazin se vyskytoval ve vzorcích povrchových a hlavně podzemních vod. Používání atrazinu je zakázáno od roku 2005 [7]. Přítomnost této perzistentní účinné látky, stejně jako účinné látky simazin a následně jejich degradačních produktů (obr. 2), se vysvětluje jako důsledek aplikace POR s účinnou látkou terbuthylazin, jelikož atrazin i simazin jsou nečistoty, jež vznikají při jeho výrobě. Další příčinou může hypoteticky být aplikace nelegálních ochranných prostředků [8]. Maxima sumy triazinových pesticidních látek ve vzorcích povrchové vody Sloupský potok a Bílá voda za období 2018–2020 nepřesáhla koncentraci 0,1 µg/l, v průměru za celé období byla jejich suma cca 0,05 µg/l. Hlavní kontaminanty povrchové vody obou přítoků Punkvy byly metabolity terbuthylazinu (terbuthylazin-desethyl) a atrazinu (atrazin-desethyl a atrazin-desethyl desisopropyl). Ve Sloupském potoku byla v roce 2018 opakovaně detekována také rezidua mateřských účinných látek terbutryn, terbuthylazin a atrazin, stejně tak v Bílé vodě byl zaznamenán občasný výskyt terbuthylazinu a atrazinu. Kontaminanty obou povrchových toků se promítají do výskytu pesticidních triazinových látek v řece Punkvě, kde byla jejich suma také maximálně 0,1 µg/l a průměrná suma pesticidů za celé období cca 0,05 µg/l. Rozdíl je však v tom, že po ponoru obou přítoků do podzemí dochází za tamních podmínek (celoroční nízká teplota, tma a jiné organismy) k pokračování rozkladu dříve na povrchu vzniklých metabolitů, jež už do podzemí přitekly. Avšak pokud se do podzemí dostanou v krasovém podloží mateřské účinné látky jako např. atrazin, pak jejich následný rozklad v podzemí probíhá velmi pomalu a dochází k jejich akumulaci a postupnému transportu do řeky Punkvy, kde jsou koncentrace vyšší a zátěž dlouhodobá.



Obr. 2. Přehled triazinových pesticidů detekovaných ve vzorcích půdy a vody na území Moravského krasu

Fig. 2. An overview of triazine pesticides detected in the soil and water samples in the Moravian Karst area



Obr. 3. Přehled azolových pesticidů detekovaných ve vzorcích půdy a vody na území Moravského krasu

Fig. 3. An overview of azole pesticides detected in the soil and water samples in the Moravian Karst area

Ačkoli problém s triazinovými pesticidy se zdá být eliminován, během studie bylo objeveno nové potenciální riziko, na které se autoři studie snažili zaměřit. Kromě triazinových pesticidů se k ošetření rostlin hojně používají také azolové fungicidy. Azolové pesticidy (tebukonazol, propikonazol, cyprokonazol a další) jsou biologicky rozložitelné rostlinami i půdními mikroorganismy a právě tyto organismy v půdní matrici degradují mateřské účinné látky na jejich společný metabolit 1,2,4-triazol (124-TRZ), který je velmi polární, mobilní v půdě, a tedy potenciální kontaminant vod. 124-TRZ je toxikologicky relevantní metabolit azolových pesticidů, což znamená, že podle legislativy by měl být jeho výskyt sledován a koncentrace v pitné vodě nesmí překročit limit pro každý jednotlivý pesticid/relevantní metabolit 0,1 µg/l. Na rozdíl od mateřských látek je 124-TRZ v životním prostředí poměrně stabilní, zejména pak dostane-li se do podzemní vody, kde je rychlost degradace vlivem podmínek zpomalena. Jeho DT50 je více než 300 dní, zejména ve vodě podzemní [9]. Přestože je 124-TRZ klasifikován jako relevantní metabolit, je docela překvapivé, že stále není rutinně kontrolován a není k dispozici dostatek dat a informací o této sloučenině, což je ale způsobeno obtížností jeho stanovení [9, 10]. Fisher et al. [11] potvrdili jeho široký výskyt v podzemních vodách v souvislosti s intenzivním zemědělským využitím půdy.

Výsledky analýz azolových pesticidů jsou shrnuty na obr. 3. Je zřejmé, že vzorek zemědělsky obhospodařované půdy B1 odebrané v Moravském krasu byl pozitivní právě na aplikované účinné látky tebukonazol, propikonazol a epoxikonazol, zatímco vzorky povrchových a podzemních vod byly – až na některé výjimky – na tyto sloučeniny negativní. Tyto výsledky potvrzují, že mateřské azolové účinné látky jsou poměrně brzy degradovány půdními mikroorganismy, a do vodního a environmentálního systému tak nejsou transportovány [12]. Skutečnost, že mateřské účinné látky azolových pesticidů jsou aplikovány na půdu v hojném množství, a přitom jejich rezidua ve vodě nejsou detekována, přispěla v roce 2020 k potřebě validace analýzy a následnému sledování metabolitu 124-triazol ve vodách. Cílem je zaměřit se včas na analýzu metabolitu, aby se do budoucna předešlo problémům s překračováním jeho hygienického limitu pro pitnou vodu, tak jako je tomu např. s metabolity triazinových nebo chloracetanilidových herbicidů na některých územích ČR (acetochlor, alachlor, atrazin, terbuthylazin) (např. [13]).

Výsledky získané během této studie potvrdily naše předpoklady, že vzorky vody neobsahují mateřské azolové pesticidy, zatímco jejich společný relevantní metabolit 124-TRZ je již přítomen v jakémkoli druhu vody (obr. 3), a to v poměrně vysokých koncentracích. Koncentrace 124-TRZ sice ani v podzemních vodách nepřekročila doporučený limit pro pitné vody (0,1 µg/l), avšak je alarmující, že všechny vzorky testované v rámci této studie od roku 2020 byly na tento relevantní metabolit pozitivní. Kontinuální a systematické monitorování této sloučeniny by mělo být globálně organizováno, aby se zabránilo nežádoucí akumulaci v prostředí a následně problémům s eliminací.

ZÁVĚR

Podle výše uvedených výsledků lze usoudit, že triazinové a azolové pesticidy a především jejich polární metabolity představují běžné a hojné kontaminanty vodního systému v Moravském krasu. Obě skupiny mají svá specifika. Přestože aplikace triazinových pesticidů naštěstí spíše klesá, jejich metabolity jsou ve vzorcích vody ještě do určité míry přítomny. Kontinuální dekontaminace a úplné odstranění jejich zbytků z prostředí by mělo zůstat prioritou. Na druhé straně se stále objevují další neprobádané a neznámé sloučeniny a metabolity. V našem případě je 124-TRZ nový zajímavý relevantní metabolit, který byl prokázán v roce 2020 ve všech testovaných vzorcích povrchových a podzemních vod, i když mateřské azolové pesticidy chyběly. O této sloučenině není mnoho známo, proto by mělo být podporováno globální a státní monitorování.

Vyhodnocení výsledků monitorovacích studií provedených v letech 2019 a 2020 vedlo k úpravě zón v CHKO MK a změně zemědělských aktivit v blízkosti propadání a oblastí nad jeskyněmi [14]. Bylo realizováno cílené zatravnění, jež výrazně zlepšilo kvalitu prosakující vody do jeskyní a dlouhodobě bude mít na lokalitu určitě další pozitivní dopady.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen díky podpoře Ministerstva zemědělství ČR (v rámci projektů QK1910282 „Možnosti zmírnění dopadů extrémních srážkových jevů v malých povodích s ohledem na požadavky trvale udržitelného zemědělského hospodaření a produkce ryb“ a RO0218 „Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace (VÚMOP, v. v. i.) na období let 2018–2022“), podpoře Technologické agentury ČR (v rámci projektu TH03030178 „Nové metody hodnocení rizik přípravků na ochranu rostlin vůči necílovým půdním organismům: Hodnocení rizik zatížení půdního prostředí xenobiotiky na diverzitu“) a také ve spolupráci se Správou CHKO Moravský kras.

Literatura

- [1] HUANG, H., LIU, H., XIONG, S., ZENG, F., BU, J., ZHANG, B., LIU, W., ZHOU, H., QI, S., XU, L., CHEN, W. Rapid Transport of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Multimedia Environment from Karst Area. *Science of the Total Environment*. 2021, 775, 145698. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972100766X>
- [2] ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M., LIŠKA, M., MAXOVÁ, J., DOBIÁŠ, J. Pesticide Leaching by Agricultural Drainage in Sloping, Mid-Textured Soil Conditions – The Role of Runoff Components. *Water Science & Technology*. 2018, 77(7), s. 1879–1890.
- [3] SHARMA, A., KUMAR, V., SHAHZAD, B. et al. Worldwide Pesticide Usage and its Impacts on Ecosystem. *SN Applied Sciences*. 2019, 1, 1446. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
- [4] RODRÍGUEZ, A., LÓPEZ, M., CASILLAS, A., LEÓN, J., BANIK, S. Impact of Pesticides in Karst Groundwater. Review of Recent Trends in Yucatan, Mexico. *Groundwater for Sustainable Development*. 2018, 7, s. 20–29. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X18300055>
- [5] KOTYZOVÁ, M., HALEŠOVÁ, T. Occurrence of Pesticides in Selected Localities of the Moravian Karst with an Impact on Drip Waters. *Protection of the Nature*. 2018, 73(1), s. 22–26.
- [6] ČSN EN ISO/IEC 17025:2018. *Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří*.
- [7] HVĚZDOVÁ, M. et al. Currently and Recently Used Pesticides in Central European Arable Soils. *Science of the Total Environment*. 2018, 613–614 (2), s. 361–370.
- [8] CHEN, W., ZENG, F., LIU, W., BU, J., HU, G., XIE, S., YAO, H., ZHOU, H., QI, S., HUANG, H. Organochlorine Pesticides in Karst Soil: Levels, Distribution, and Source Diagnosis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021, 18(21), 11589. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph182111589>
- [9] HALEŠOVÁ, T., VÁCLAVÍKOVÁ, M., TOMEŠOVÁ, D., ERBAN, T. 1,2,4-triazole: (Un) known Relevant Metabolite in Water. *Water management*. 2021, 71(1), s. 4–7.
- [10] COWI. *Potential Sources of 1,2,4-triazole in Danish Groundwater*. Danish Environmental Protection Agency, 2019, 32 s. Dostupné z: https://mst.dk/media/210522/notat_potential-sources-of-124-triazole-in-danish-groundwater.pdf
- [11] FISHER, I., PHILLIPS, P., BAYRAKTAR, B., CHEN, S., MCCARTHY, B., SANDSTROM, M. Pesticides and their Degradates in Groundwater Reflect Past Use and Current Management Strategies, Long Island, New York, USA. *Science of the Total Environment*. 2021, 752, 141895. Dostupné z: [10.1016/j.scitotenv.2020.141895](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141895)
- [12] CHEN, Z. F. et al. Typical Azole Biocides in Biosolid-Amended Soils and Plants Following Biosolid Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013, 61(26), s. 6198–6206.
- [13] MOULISOVÁ, A., BENDAKOVSKÁ, L., KOŽÍŠEK, F., VAVROUŠ, A., JELIGOVÁ, H., KOTAL, F. Pesticidy a jejich metabolity v pitné vodě. Jaký je současný stav v České republice? *Vodní hospodářství*. 2018, 68(7), s. 4–10. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/pesticidy-a-e2%80%AFjejich-metabolity-pitne-vode/>
- [14] KOTYZOVÁ, M., HALEŠOVÁ, T. Grassing of the 1st Zone in the Moravian Karst. *Protection of the Nature*. 2021, 76(1), s. 15–18.

Autoři

Ing. Taťána Halešová¹

✉ tatana.halesova@alsglobal.com

ORCID: 0000-0002-3911-860X

Ing. Jana Konečná, Ph.D.²

✉ konecna.jana@vumop.cz

ORCID: 0000-0002-7914-428X

Ing. Marta Václavíková, Ph.D.¹

✉ marta.vaclavikova@alsglobal.com

ORCID: 0000-0001-8460-6218

Mgr. Petr Karásek²

✉ karasek.petr@vumop.cz

ORCID: 0000-0002-0991-076X

Mgr. Eva Nováková²

✉ novakova.eva@vumop.cz

ORCID: 0000-0002-1013-1659

¹ALS Czech Republic, Praha

²Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.12.001

OCCURRENCE OF PESTICIDE MATTERS IN THE PUNKVA RIVER

**HALEŠOVÁ, T.¹; KONEČNÁ, J.²; VÁCLAVÍKOVÁ, M.¹;
KARÁSEK, P.²; NOVÁKOVÁ, E.²**

¹ALS Czech Republic, Prague

²Research Institute for Soil and Water Conservation, Prague

Keywords: Moravian Karst — water quality —
surface and ground water — triazines — azoles

The Moravian Karst is the largest and most karstic area in the Czech Republic, and as such it belongs to protected landscape areas (PLAs). The karst area occupies a strip of Devonian limestone north of Brno. The north part of Moravian Karst is drained by the river Punkva and its sources. There is located one of the biggest cave systems in the central Europe, Amaterska cave, which is more than 40 km long.

Usually, it is expected that protected places are pure and lack of contaminants. However, recent studies shown the presence of potentially hazardous pollutants in the Punkva river. The origin of the contamination is in the Moravian Karst and its catchment area and it is connected to anthropogenic activities and land use, especially for agricultural production. The article is focused on the occurrence of pesticides, especially triazine and azole pesticides and their polar metabolites. In 2020, a new significant contaminant, a common relevant metabolite of azole pesticides, 1,2,4-triazole, was found at the monitored site. These contaminants can lead to fatal effects not only on endemic organisms living in the Moravian Karst but also on human health, because the ground water from the Moravian Karst is used as a source of drinking water. Thanks to this study, the Moravian Karst is now better protected as the protected areas along the cave system have been extended.

Sledování změn ve vývoji krajiny na severovýchodním okraji Hřebenů se zaměřením na mokřady

PAVEL RICHTER, RENÁTA SZTYMONOVÁ

Klíčová slova: archivní mapy — analýza změn krajiny — GIS — mokřady — voda v krajině

SOUHRN

Tento článek se zabývá proměnami mokřadů na severovýchodním okraji Hřebenů za posledních 180 let. Posuzuje dynamiku těchto krajinných prvků v prostoru a čase. Byla vybrána katastrální území Čisovice, Řitka, Kytín a Nová Ves pod Pleší s celkovou výměrou 3 785,57 ha. Analýza provedená na podkladě Císařských povinných otisků map stabilního katastru z roku 1840, ortofotomapy a terénního průzkumu z roku 2020 rozlišila mokřady v řešeném území na kontinuální, zaniklé a nové. Podkladová data byla zpracována v softwaru ArcGIS verze 10.7.1. Rozloha mokřadů poklesla z 289,34 ha v roce 1840 (7,6 % výměry řešeného území) na 39,26 ha v roce 2020 (1,04 % výměry řešeného území). Na základě studia dostupných podkladů byly klasifikovány tři typy mokřadních biotopů: mokré louky, mokré louky s dřevinami a rybníky.

ÚVOD — ZMĚNY KRAJINY V KONTEXTU VODOHOSPODÁŘSKÉ PROBLEMATIKY

Krajina se neustále mění, nejčastěji v důsledku činnosti člověka. Evropská krajina zaznamenala velké změny během počátku 19. a v průběhu 20. století – od intenzifikace zemědělské výroby přes budování urbánních a suburbánních zón až po zpětné zalesňování [1]. Krajina na území ČR není v tomto směru výjimkou. Za uplynulých 200 let docházelo k trvalému úbytku luk a pastvin z krajiny, nejčastěji za účelem vzniku nové orné půdy. V 19. století byly takto rozorány i louky v nívních oblastech [2]. Mezi lety 1845–1948 byly louky a pastviny nejčastějším původním land use pro vznik nové orné půdy. Tento trend trvalého poklesu se změnil v devadesátých letech 20. století, kdy docházelo naopak k rozšiřování luk a pastvin, nejprve v horských oblastech a poté i v nížinách [3]. V průběhu 19. století proběhly další zásahy do krajiny v oblasti povrchových vod. Šlo o první velkoplošné meliorace, napřimování a regulace vodních toků, zazemňování rybníků a stavbu prvních přehrad [2]. Rybníky patří k mokřadům vytvořeným člověkem. V Čechách byly zakládány od 12. století, jejich úbytek však začal již po třicetileté válce a na vysušených plochách vznikaly nové pastviny a pole [4]. V České republice je pojem rybník definován zákonem 99/2004 Sb., jako „vodní dílo, které je vodní nádrží určenou především k chovu ryb, ve kterém lze regulovat vodní hladinu, včetně možnosti jeho vypouštění a slovení; rybník je tvořen hrází, nádrží a dalšími technickými zařízeními“ [5]. Jednou z nejdůležitějších funkcí mokřadů obecně je schopnost zadržet povrchovou vodu, jež se poté uvolňuje do vody podzemní. Tím dochází k obohacování jejích zásob. Tato konektivita mezi mokřady a podzemní vodou je ovlivněna geologickým podložím, reliéfem

a půdními vlastnostmi [6]. Doplněné zásoby podzemní vody se pomalu uvolňují do okolních vodních toků, vodních nádrží a krajiny obecně, čímž poskytují okolí zásobu vody v období sucha [7]. Hlavním cílem výzkumu představeného v tomto článku bylo posoudit časoprostorovou dynamiku mokřadních biotopů.

Řešené území

Brdská vrchovina se člení na Hřeben, centrální Brdy a jižní Brdy [8, 9]. Do Brdské vrchoviny dále patří podcelky Příbramská pahorkatina a samotné Brdy, složené ze tří okrsků (Třemošenská vrchovina, Třemšinská vrchovina a Strašická vrchovina) [9]. Hřeben, někdy nazývaný Brdské Hřeben nebo Hřeben Brdy, představují zalesněný pás táhnoucí se ve směru SV–JZ mezi Prahou a Plzní, konkrétněji mezi údolím Vltavy u Zbraslavi a údolím Litavky. Od roku 2009 byl na převážné části brdských Hřebenů o rozloze 184 km² vyhlášen Přírodní park Hřeben [10].

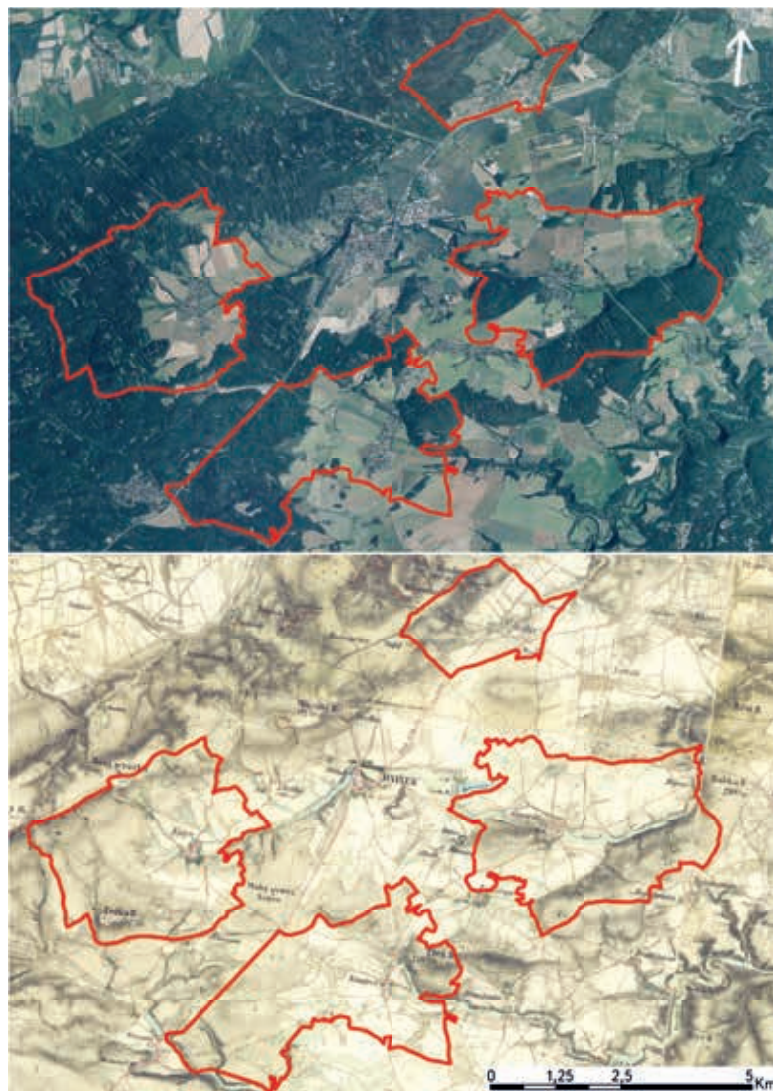
Aktuální geomorfologické členění:

- GMF podsoustava: Brdská podsoustava
- GMF celek: Brdská vrchovina
- GMF podcelek: Brdy, Hřeben, Příbramská pahorkatina

Podcelek Hřeben se nachází v severovýchodní části Brdské vrchoviny. Jde o členitou vrchovinu o rozloze 125,08 km², střední výšce 440 m a středním sklonu 7°. Složená ze souvrství kambrických a ordovických břidlic, pískovců, drob, slepenců a křemenců, z proterozoických dacitů, andezitů a tufů tvoří jednotný široký strukturní hřbet směru JZ–SV s výraznými příkrými okrajovými svahy (na SZ krytými balvanovými a blokovými sutěmi), příčně rozrušený hlubokým údolím Vltavy a Všenorského potoka. Nejvyšším bodem je Studený vrch 660,3 m n. m. ve Studenské vrchovině [9].

Řešené území bylo vymezeno pomocí hranic současných katastrálních území (dále k. ú.) (obr. 1). Ta byla zvolena tak, aby reprezentovala prediktory vývoje vodních toků a mokřadů v oblasti krajinného rázu „Dobříšsko-Mníšsko“ ležící na severovýchodním okraji Hřebenů [11]. Hlavním kritériem pro výběr řešeného území bylo jeho umístění v dosud málo analyzované oblasti středních Čech v geomorfologickém podcelku Hřeben. Dalším kritériem byla lokalizace studijního území v mírně chladné krajině pahorkatin a vrchovin [12]. Zdejší krajina je mozaikou lesů, rozsáhlých lánů zemědělské půdy a menších sídel. Plní také významnou funkci rekreačního zázemí pro hlavní město Prahu [13].





Obr. 1. Řešené území v současných hranicích k. ú. na podkladech současné ortofotomapy [21] a II. vojenského mapování (mapováno 1836–1852 v měřítku 1 : 28 800) [22]
 Fig. 1. Examined area (current borders of cadastral area) on the basis of the current orthophoto map [21] and II. military mapping (mapped 1836–1852 in the scale 1 : 28 800) [22]

Celkem byla vybrána čtyři k. ú. o souhrnné rozloze 3 785,57 ha [14]. Přirozené polohopisné i hospodářské centrum oblasti, katastrální území Mníšek pod Brdy, bylo z výběru záměrně vynecháno. Mníšek pod Brdy má statut města již od 14. století [15]. Svým charakterem neodpovídá venkovskému typu osídlení, a jeho území tak není vhodné ke komparaci s okolními venkovskými regiony.

Pomyslnou osou řešeného území je dálnice D4 vedoucí z Prahy jihozápadním směrem, její trasa sleduje přibližně trasu historické Zlaté stezky. Zlatá stezka z Prahy do Pasova měla na kulturní vývoj zdejší krajiny zásadní vliv. Historicky oblast patřila ke knížecím a později královským državám. Převládaly zde souvislé lesní porosty, v nichž se nacházely královské lovecké hrádky (nynější zámek v Mníšku pod Brdy, Vargač v Dobříši, Tři Trubky u Strašic apod.). Množství pozemků v okolí Mníšku pod Brdy se dostalo jako knížecí či královský dar do vlastnictví církve. Kláštery zdejší oblast kolonizovaly a zakládaly vesnice. Sledované území tak patřilo k později kolonizovaným oblastem středního Povltaví [16].

V uplynulém dvacetiletí se pro dobré spojení, čistotu ovzduší a blízkost brdských Hřebenů mnohonásobně zvýšila nová výstavba. Počet obyvatel vzrostl od začátku roku 2001 do konce roku 2020 téměř dvojnásobně

(Čisovice: 703 obyvatel => 1 104 obyvatel; Řitka: 604 obyvatel => 1 228 obyvatel; Kytín: 331 => 543 obyvatel; Nová Ves pod Pleší: 731 => 1 286 obyvatel) [17].

Původní zemědělský charakter k. ú. v řešené lokalitě byl nahrazen funkcí rezidenční a rekreační. Historicky převládající orná půda ustoupila nové urbánní a suburbánní zástavbě. K zemědělství je v současnosti vázáno minimum obyvatel, většina jich za prací vyjíždí a významný podíl zástavby slouží k rekreačním účelům [11].

Popis řešeného území z hlediska geomorfologie, klimatu, vegetace a vody v krajině

- Geomorfologie: na mírných svazích převážně jihovýchodní orientace se usadily slabší vrstvy sprašových hlín, přecházející do svahovin. Tyto půdy jsou úrodnější, z toho důvodu byly ve velké většině zorněny. Úvalovitá údolí přítoků Vltavy (Bojovský potok, Novoveský potok, Voznický potok) a Berounky (Všenorský potok) jsou místy výrazněji zahloubená [11].
- Klima: podnebí je mírně teplé a mírně suché. Západní polovina středních Čech leží ve srážkovém stínu Brd, potažmo Krušných hor, a zájmová studijní území navíc i ve srážkovém stínu Hřebenů. Klima regionu ovlivňují také poměrně teplé výsušné větry (málo výrazná období föhnových větrů). Průměrná roční teplota vzduchu činí 7–9 °C, průměrný úhrn ročních srážek 500–600 mm [18].
- Vegetace: fytogeografický obvod území je Českomoravské mezofytikum, fytogeografický okres 35c Příbramské Podbrdsko – tvoří přechod mezi teplomilnou a chladnomilnou květenou, zahrnuje stupeň suprakolinní (kopcovinný) a submontánní (podhorský, vrchovinny) [19]. V hospodářských lesích je dominantní dřevinou smrk. Na jižních svazích Hřebenů trpí místy přísuškem, to znamená, že je více vystaven napadení kůrovcem. Smrkové monokultury doplňuje příměs borovice, jedle a modřínu. Roztroušeně nebo ve skupinách, místy i v souvislých porostech, jsou zastoupeny dub, buk, osika, bříza a javor [11].
- Voda v krajině: vodní ekosystémy nepatří k podstatným rysům krajinného rázu oblasti. Jsou tvořeny malými a velkými potoky, malými až středně velkými rybníky a dále prameništi. Potoky protékající polní krajinou jsou často regulovány, napřímeny a zpravidla s minimem břehových porostů. Koryta potoků protékajících lesní krajinou byla také podrobena napřimování a zahlubování, ale většinou si udržela přírodní blízký charakter. Četná prameniště v polích byla odvodněna a zanikla. V lesích je pramenišť málo. Nacházejí se ponejvíce na úpatí Hřebenů v podmáčených lokalitách a i zde byla mnohá odvodněna [11].

METODIKA

Základem pro zpracování dat byly archivní mapové podklady, mapové podklady z roku 2020 a terénní průzkum prováděný během roku 2020. Vlastní zpracování získaných dat probíhalo v roce 2021.

Podklady pro zpracování dat

Základním podkladem pro tvorbu vektorové vrstvy k analýze vývoje řešeného území byly mapové listy Císařských povinných otisků stabilního katastru (znázorňující stav území v roce 1840 v měřítku 1 : 2 880) [20] a souřadnicově připojená ortofotomapa z roku 2020, ZABAGED[®] a Základní mapa ČR 1 : 10 000 (ZM 10), všechny dostupné na Geoportálu ČÚZK [21] jako WMS služba.

Použité programy a zpracování dat

Georeferencování archivních mapových listů Císařských povinných otisků stabilního katastru v souřadnicovém systému S-JTSK East North, připojení současných podkladů pomocí WMS služby a následná tvorba polygonové vrstvy formátu .shp proběhlo v prostředí ArcGIS, konkrétně v programu ArcMAP 10.7.1. Každý polygon byl definován svým identifikačním číslem, typem mokřadu a rokem, ve kterém se na území vyskytoval. Prvotní zpracování dat proběhlo v prostředí GIS. Šlo o výpočet plochy polygonů a délek linií. Výsledné hodnoty byly vyexportovány a interpretovány formou tabulek v programu Microsoft Excel 2016. V rámci zpracování těchto mapových a tabelárních výstupů jsou v článku prezentovány výsledky týkající se změny rozlohy a lokalizace jednotlivých typů mokřadů. Podle stability byly mokřady diferencovány jako kontinuální, zaniklé a nové (tab. 1). Na základě studia dostupných podkladů, tak aby bylo možné je identifikovat v obou sledovaných obdobích, byly klasifikovány tři typy mokřadních biotopů: mokré louky, mokré louky s dřevinami a rybníky (tab. 3).

Tab. 1. Klasifikace mokřadů podle stability výskytu v jednotlivých obdobích

Tab. 1. Wetland classification according to stability occurrence in individual periods

Typ mokřadu	1840	2020	kód
zaniklý	1	0	z
kontinuální	1	1	k
nový	0	1	n

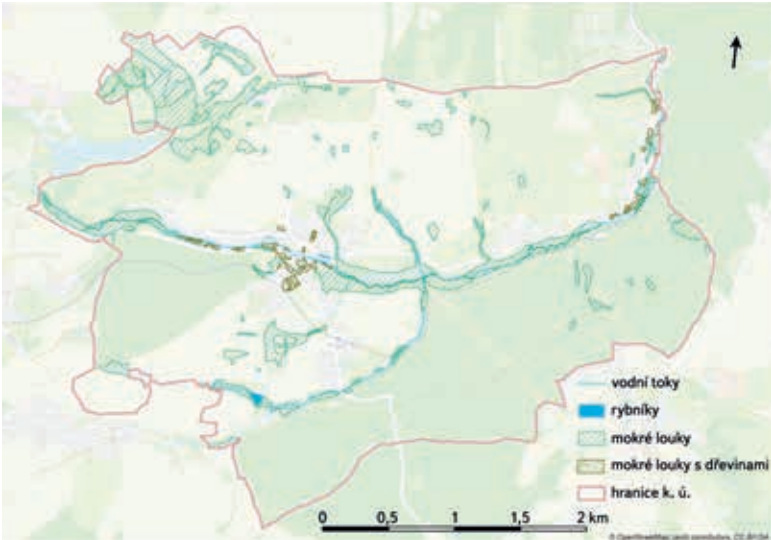
Stanovení hypotézy krajinných změn v řešeném území a očekávané hybné síly

Byla stanovena hypotéza výrazného úbytku mokřadů v důsledku změny využití krajiny z ryze zemědělské na převažující urbánní a na intenzifikaci zemědělství na zbylých obhospodařovaných plochách. Soubor impulzů, který k takovým změnám v krajině vede, nazýváme hybné síly. Koncept hybných sil využití ploch je základním termínem používaným pro vysvětlení důvodů změn krajiny [24]. Charakteristickým znakem hybných sil je jejich propojenost, rozmanitost a obtížnost jejich definování [25]. Nicméně i přes tuto rozmanitost bývají hybné síly rozdělovány do různých kategorií. Základní členění hybných sil je do dvou kategorií podle vztahu jejich původu k lidské společnosti, a to na společenské hybné síly a přírodní podmínky [26]. Společenské hybné síly se pak dají rozdělit na čtyři základní kategorie: ekonomické, technologické, politické a kulturní [27].

Tab. 2. Celkové zastoupení mokřadů v jednotlivých obdobích v hodnotách absolutních [ha] a relativních [%]

Tab. 2. Total proportion of wetlands in individual periods in absolute [ha] and relative [%] values

k. ú./mokřady	1840 [ha]	1840 [%]	2020 [ha]	2020 [%]
Čisovice (1 200 ha)	116,29	9,69	19,73	1,64
Řitka (393 ha)	13,08	3,33	3,98	1,01
Kytín (1 089 ha)	88,55	8,13	6,92	0,64
Nová Ves p. P. (1 102 ha)	71,43	6,48	8,63	0,78
Řešené území (3 784 ha)	289,34	7,65	39,26	1,04



Obr. 2. Lokalizace mokřadních biotopů v k. ú. Čisovice roku 1840. Podkladová data OpenStreetMap [23]

Fig. 2. Location of wetland habitats in the Čisovice cadastral area in 1840. Background data OpenStreetMap [23]



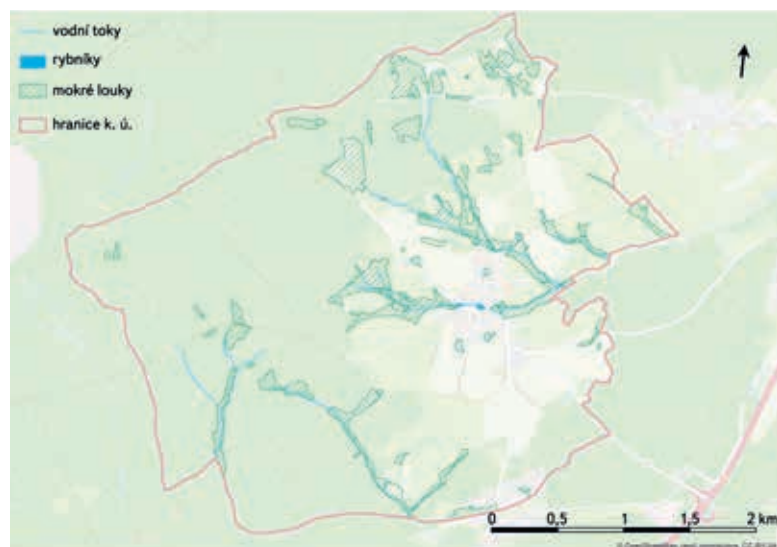
Obr. 3. Lokalizace mokřadních biotopů v k. ú. Čisovice roku 2020. Podkladová data OpenStreetMap [23]

Fig. 3. Location of wetland habitats in the Čisovice cadastral area in 2020. Background data OpenStreetMap [23]

Předpokladem bylo, že intenzifikace zemědělství a urbanizace na tomto území byla výsledkem prvních tří výše uvedených hybných sil a urbanizace v souvislosti s rekreačním využitím území byla ještě ovlivněna hybnými silami kulturními.

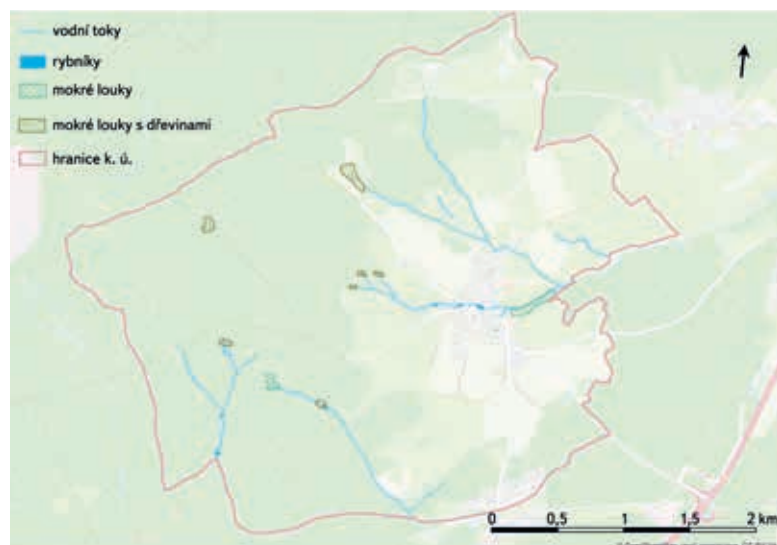
VÝSLEDKY

Pro všechna řešená k. ú. je společným znakem výrazný pokles celkové plochy mokřadů – a to z 289,34 ha v roce 1840 (7,6 % výměry řešeného území) na 39,26 ha v roce 2020 (1,04 % výměry řešeného území) (tab. 2, obr. 2–9). Nejdominantnějším ze všech mokřadních typů, včetně mokřadů zaniklých, jsou v řešeném území z hlediska stability mokré louky – rozkládají se na 283,87 ha, tj. tvoří 89,35 %



Obr. 4. Lokalizace mokřadních biotopů v k. ú. Kytín roku 1840. Podkladová data OpenStreetMap [23]

Fig. 4. Location of wetland habitats in the Kytín cadastral area in 1840. Background data OpenStreetMap [23]



Obr. 5. Lokalizace mokřadních biotopů v k. ú. Kytín roku 2020. Podkladová data OpenStreetMap [23]

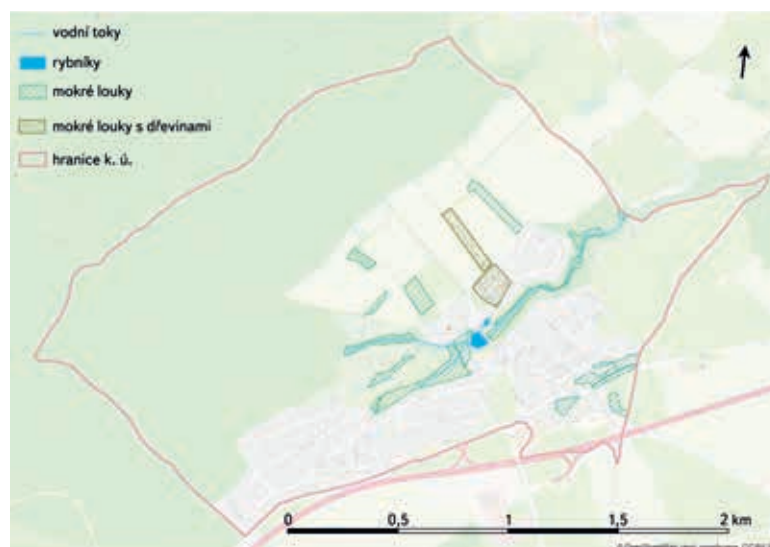
Fig. 5. Location of wetland habitats in the Kytín cadastral area in 2020. Background data OpenStreetMap [23]

mezi mokřadními typy. Mokré louky s dřevinami a rybníky se nacházejí pouze na 27,92 ha, resp. 5,91 ha, tj. zaujímají 8,79 %, resp. 1,86 % mezi mokřadními typy.

Mokré louky podle stability výrazně převažují – zaniklé mají plochu 271,57 ha (95,67 %), zatímco kontinuální a nové zabírají 9,49 ha (3,34 %), resp. 2,81 ha (0,99 %).

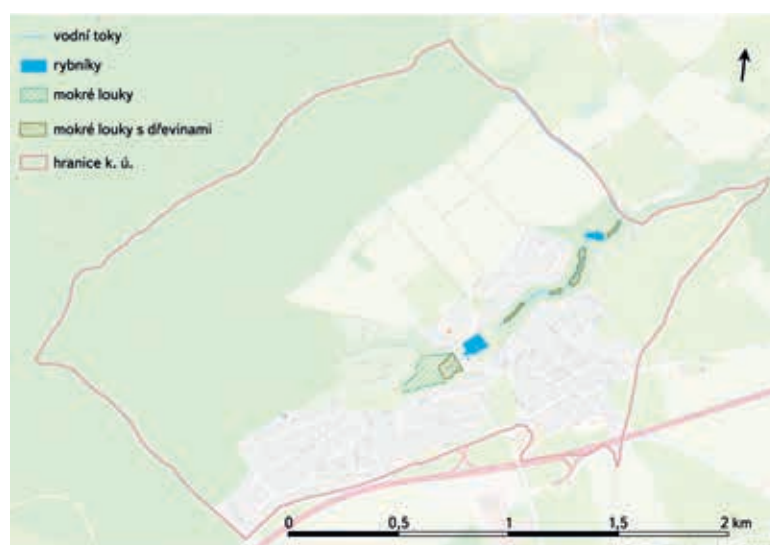
Minoritní mokřadní typy, tedy mokré louky s dřevinami a rybníky, naopak zaznamenávají nárůst jejich celkové plochy v čase, nicméně vzhledem k jejich malé rozloze v řešeném území nemohou zvrátit celkový trend pro mokřady daný převažujícími mokřadními loukami.

Mezi mokřadními loukami s dřevinami podle stability výrazně převažují nové – na ploše 22,39 ha (80,19 %), naopak zaniklé zabírají 5,53 ha (19,81 %). Jako kontinuální typ mokřadu podle stability se mokré louky s dřevinami nevyskytují. Rybníky podle stability jsou nejvíce zastoupeny novými – na ploše 3,16 ha (53,47 %), kontinuální a zaniklé zabírají 1,41 ha (23,86 %), resp. 1,34 ha (22,67 %).



Obr. 6. Lokalizace mokřadních biotopů v k. ú. Řitka roku 1840. Podkladová data OpenStreetMap [23]

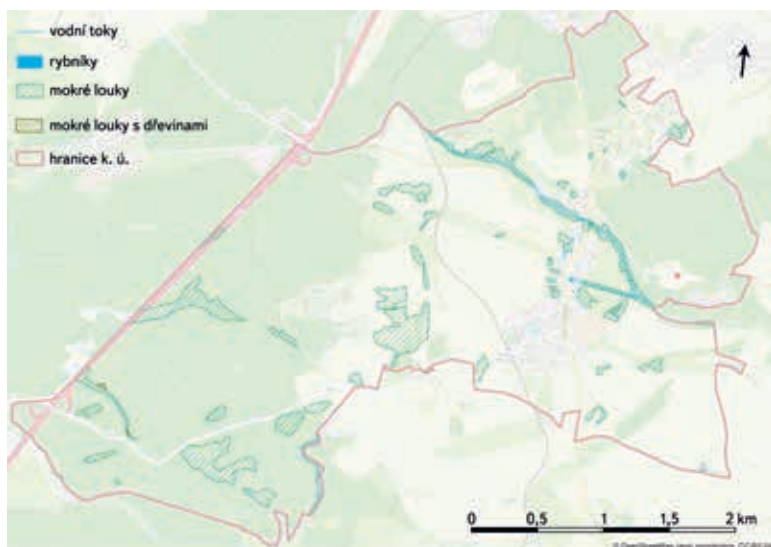
Fig. 6. Location of wetland habitats in the Řitka cadastral area in 1840. Background data OpenStreetMap [23]



Obr. 7. Lokalizace mokřadních biotopů v k. ú. Řitka roku 2020. Podkladová data OpenStreetMap [23]

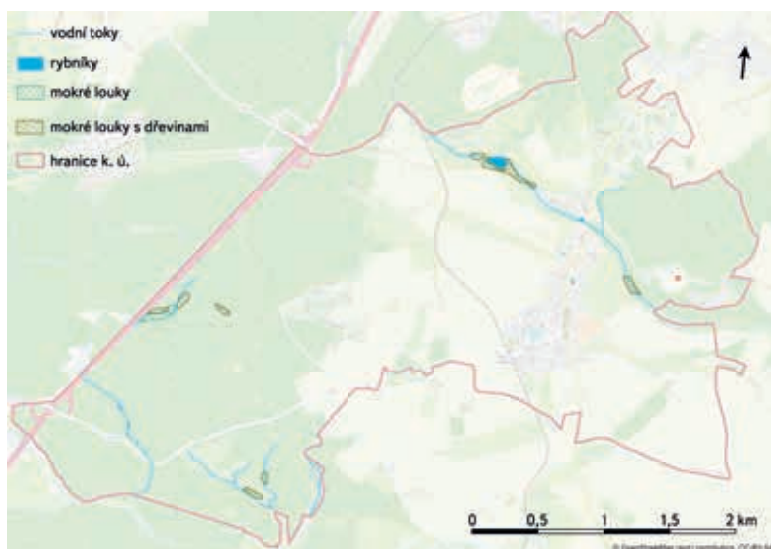
Fig. 7. Location of wetland habitats in the Řitka cadastral area in 2020. Background data OpenStreetMap [23]

Ve všech čtyřech k. ú. jsou výsledky a trendy obdobné jako na celém řešeném území, tedy největší rozloha zaniklých mokřadů a nejmenší rozloha mokřadů kontinuálních. Jsou tu však drobné rozdíly, např. v k. ú. Řitka a Kytín se mokré louky s dřevinami vyskytují pouze jako nové mokřady. V k. ú. Řitka se mokré louky coby kontinuální typ téměř nevyskytují a mají menší rozlohu než mokré louky nové. Totéž platí v případě rybníků v k. ú. Nová ves pod Pleší. V k. ú. Řitka je celková rozloha mokřadů podle stability značně menší než u ostatních k. ú. (4,7krát menší než v k. ú. Nová Ves pod Pleší, 5,6krát menší než v k. ú. Kytín a 7,9krát menší než v k. ú. Čisovice). Samotná rozloha celého k. ú. Řitka je přitom cca 3krát menší v poměru ke všem ostatním jednotlivým k. ú. (tab. 3, obr. 2–9).



Obr. 8. Lokalizace mokřadních biotopů v k. ú. Nová Ves pod Pleší roku 1840. Podkladová data OpenStreetMap [23]

Fig. 8. Location of wetland habitats in the Nová Ves pod Pleší cadastral area in 1840. Background data OpenStreetMap [23]



Obr. 9. Lokalizace mokřadních biotopů v k. ú. Nová Ves pod Pleší roku 2020. Podkladová data OpenStreetMap [23]

Fig. 9. Location of wetland habitats in the Nová Ves pod Pleší cadastral area in 2020. Background data OpenStreetMap [23]

Na zaniklých plochách mokřadních luk, tj. převažujícího mokřadního biotopu, se v současnosti v k. ú. Kytín vyskytují nejčastěji trvalé travní porosty (TTP) (42 %), les a křoviny (18, resp. 17 %), v k. ú. Nová Ves pod Pleší TTP (38 %), orná půda a les (30, resp. 27 %) a v k. ú. Čisovice TTP a orná půda (40, resp. 28 %), avšak les a zástavba včetně zahrad na místě zmizelých mokřadů zaujímají také významný podíl (14, resp. 13 %). V k. ú. Řitka jsou na místě mokřadních luk TTP (35 %), les a zástavba včetně zahrad (shodně 27 %), orná půda 12 % a také poměrně významná plocha zaniklých mokřadních luk s dřevinami. Na jejich místě se nacházejí rovným dílem orná půda a zástavba včetně zahrad.

Na obr. 10–13 jsou prezentovány příklady typů mokřadních biotopů z terénního průzkumu v řešeném území.

Tab. 3. Zastoupení jednotlivých klasifikačních typů mokřadních biotopů podle stability v řešeném území a v jednotlivých k. ú. [ha]

Tab. 3. Representation of individual classification types of wetland habitats according to stability in the examined area and in individual cadastral areas [ha]

Čisovice (1 200 ha)	z [ha]	k [ha]	n [ha]	celkem [ha]
Mokré louky	105,35	4,86	1,33	111,54
Mokré louky s dřevinami	5,27	0	12,1	17,37
Rybníky	0,21	0,59	0,85	1,65
Mokřady celkem	110,83	5,45	14,28	130,56
Řitka (393 ha)	z [ha]	k [ha]	n [ha]	celkem [ha]
Mokré louky	12,53	0,04	1,45	14,02
Mokré louky s dřevinami	0	0	1,48	1,48
Rybníky	0,08	0,43	0,58	1,09
Mokřady celkem	12,61	0,47	3,51	16,59
Kytín (1 089 ha)	z [ha]	k [ha]	n [ha]	celkem [ha]
Mokré louky	85,64	2,57	0,03	88,24
Mokré louky s dřevinami	0	0	3,68	3,68
Rybníky	0,08	0,26	0,38	0,72
Mokřady celkem	85,72	2,83	4,09	92,64
Nová Ves p. Pleší (1 102 ha)	z [ha]	k [ha]	n [ha]	celkem [ha]
Mokré louky	68,05	2,02	0	70,07
Mokré louky s dřevinami	0,26	0	5,13	5,39
Rybníky	0,97	0,13	1,35	2,45
Mokřady celkem	69,28	2,15	6,48	77,91
Řešené území (3 784 ha)	z [ha]	k [ha]	n [ha]	celkem [ha]
Mokré louky	271,57	9,49	2,81	283,87
Mokré louky s dřevinami	5,53	0	22,39	27,92
Rybníky	1,34	1,41	3,16	5,91
Mokřady celkem	278,44	10,9	28,36	317,7



Obr. 10. Mokrá louka v lokalitě Andělské schody v k. ú. Nová Ves pod Pleší
Fig. 10. Wet meadow in the locality Andělské schody in the Nová Ves pod Pleší cadastral area



Obr. 11. Široká niva Bojovského potoka v k. ú. Čisovice klasifikovaná jako mokrá louka
Fig. 11. The wide floodplain of the Bojovský creek in the Čisovice cadastral area classified as a wet meadow



Obr. 12. Niva potoka Chouzavá v k. ú. Kytín klasifikovaná jako mokrá louka s dřevinami
Fig. 12. The floodplain of the Chouzavá creek in the Kytín cadastral area classified as a wet meadow with woody plants



Obr. 13. Litorální pásmo rybníka Mlýnec v k. ú. Řitka
Fig. 13. The littoral zone of the Mlýnec pond in the Řitka cadastral area

DISKUZE

Vybrané lokality v řešeném území se vyznačují specifickým atributem – jejich plocha je téměř z 50 % zalesněna a vzhledem k umístění na úpatí Hřebenů plní funkci prameniště pro část povodí Dolní Vltavy a Berounky. Brdské lesy nebyly doposud systematicky a soustavně zkoumány (vyjma CHKO Brdy). Tato práce tudíž nemohla zcela objektivně posoudit historické lokace lesních mokřadních stanovišť. Nicméně klesající trend výskytu mokřadů zachytila na současné lesní i nelesní ploše zájmového území. Zvolená metoda detekce mokřadů v krajině je vzhledem k jisté nepřesnosti map stabilního katastru (především kvůli nedostatečnému historickému zachycení podmáčených lesů) [28] použitelná jen v omezené míře. S ohledem na dostupnost historických podkladů k dané tematice je však dobrým prostředkem pro získání základů k následné analýze. Vzhledem k časové i prostorové obsáhlosti tohoto výzkumu je možné označit použitou metodu jako relativně rychlou. Výsledky verifikace odhalily nedostatky při lokalizaci historických mokřadů, ale pro identifikaci současných mokřadních ploch je kombinace terénního průzkumu spolu s vrstvou ZABAGED*, ZM 10 a současnou ortofotomapou dostatečně objektivní.

Z hlediska časové stability mokřadů analýza jejich trajektorií na řešeném území ukázala, že historicky patřily mezi nejvíce rozšířenou mokřadní kategorií (281,06 ha v roce 1840). Zároveň se jejich zastoupení v současné krajině řešeného území výrazně snížilo (na 12,3 ha). V kategorii zmizelých mokřadů jsou nejčastějším typem (tab. 3). Tento fakt odpovídá i zjištěním obdobných studií na území ČR i v zahraničí [29–32].

Nejvyšší stabilitu a kontinuitu v čase vykazují rybníky. Na základě analýzy jejich dynamiky je patrné, že jim též můžeme připsat nejvyšší nárůst rozlohy vzhledem k jejich historickým výměrám (z 2,75 ha v roce 1840 na 4,57 v roce 2020), a to navzdory skutečnosti, že představují pouze 0,95 % celkové výměry mokřadů v mapách stabilního katastru. Se zřetelem na pokles výměr ostatních typů mokřadních stanovišť stoupl podíl rybníků na celkové rozloze mokřadů v současnosti na 11,64 %.

Rybníky jako typ mokřadů nemusely být uvažovány. Z hlediska krajinné ekologického i vodohospodářského jsou rybníky řazeny mezi vodní plochy. Nicméně zároveň splňují definici mokřadů [5]. Na mapách stabilního katastru jsou všechny vodní plochy, jak v řešeném území, tak i obecně řazeny k rybníkům. V současnosti je podle mapových podkladů a terénního průzkumu situace v řešeném území obdobná (obr. 13).

Zajímavý jev byl shledán při komparaci poklesu ploch mokřých luk s nárůstem ploch mokřých luk s dřevinami. Mokřadní typ mokré louky s dřevinami vykazuje nejvyšší zjištěnou dynamiku trajektorií. Mokré louky s dřevinami, jež se v mapách stabilního katastru rozkládají jen na 5,53 ha, a to pouze na území k. ú. Čisovice a Nová Ves pod Pleší, navýšily do roku 2020 svou rozlohu na 22,42 ha a nyní se nacházejí na území všech čtyř k. ú. To znamenalo nárůst z 1,91 % na 57,03 % plochy všech mokřadů na řešeném území (tab. 3). Možné vysvětlení spočívá v historickém upuštění od sečení mokřých luk a jejich následném zarůstání sukcesními dřevinami, ale také v zalesňování méně úrodných lokalit [33, 34].

Na plochách zaniklých mokřadů převládají TTP, významný podíl také zaujímá les. Orná půda rovněž tvoří významnou plochu původních a nyní zmizelých mokřadů s výjimkou k. ú. Kytín, kde se naopak ve velké míře vyskytují, na rozdíl od zbytku řešeného území, křoviny. Zástavba včetně zahrad zaujímá významný podíl pouze v k. ú. Řitka a Čisovice. Hybnými silami bylo tedy na celém území opouštění hospodářsky využívaných ploch a jejich zarůstání lesem, resp. odvodňování podmačených lokalit v rámci intenzifikace zemědělství, tj. přeměna „mokřých“ luk v louky „suché“. V k. ú. Kytín byla odlišná skladba land use na plochách historických mokřadů, neboť se tu téměř nevyskytuje zástavba ani orná půda. Je to dáno rekreačním využitím tohoto území a také zde není takový tlak na přeměnu lokality pro hospodářské využití. Naopak zástavba včetně zahrad se na místě historických zaniklých mokřadů vyskytuje v podstatě jen v k. ú. Řitka a Čisovice. Je to dáno současným tlakem na výstavbu pro jejich významnou rezidenční funkci díky jejich blízkosti přírodě i snadné dopravní dostupnosti do Prahy.

V případných navazujících studiích by bylo zajímavé provést podrobnější hydrologická měření pro zjištění přímého vlivu odlesňování na stav pramenišť, potažmo celého území na úpatí Hřebenů. Výsledky by mohly být komparovány s dalšími oblastmi podhůří v ČR i v zahraničí.

ZÁVĚR

V řešeném území došlo k výraznému poklesu celkové plochy mokřadů z 289,34 ha v roce 1840 na 39,26 ha v roce 2020, což znamená 7,6 %, resp. 1,04 % výměry řešeného území. Nejdominantnějším mokřadním typem v daném území podle stability, tedy včetně zaniklých mokřadů, jsou mokré louky, rozkládající se na 283,87 ha, tj. tvořící 89,35 % mezi mokřadními typy. Mokré louky s dřevinami a rybníky zaujímají rozlohu pouze 27,92 ha, resp. 5,91 ha, tj. tvoří 8,79 %, resp. 1,86 % mezi mokřadními typy.

Mokré louky jsou v řešeném území klasifikovány převážně jako zaniklé na ploše 271,57 ha (95,67 % plochy typů mokřých luk podle stability), kontinuální a nové mokré louky se nacházejí na ploše 9,49 ha (3,34 %), resp. 2,81 ha (0,99 %).

Další mokřadní typy – mokré louky s dřevinami a rybníky – naopak zaznamenávají mírný nárůst jejich celkové plochy v roce 2020 oproti stavu z roku 1840, nicméně vzhledem k jejich zanedbatelné rozloze oproti mokřým loukám v řešeném území nemohou zvrátit celkový trend silného poklesu souhrnné plochy pro mokřady jako takové.

Výsledky prezentované v tomto článku by měly být prakticky využitelným podkladem pro navazující monitoring vodních prvků v daném regionu s cílem návratu vody do krajiny. Mohou být nápomocny obnově zaniklých mokřadů a zároveň pro péči o mokřady současné. Neboť právě tyto krajinné prvky jsou řešením, jak se adaptovat na problémy, jež působí současná klimatická změna. Živá a pestrá krajina významně přispívá k zadržování vody a udržování stabilního klimatu.

Literatura

- [1] BENDER, O., BOEHMER, H. J., JENS, D., SCHUMACHER, K. P. Using GIS to Analyse Long-Term Cultural Landscape Change in Southern Germany. *Landscape and Urban Planning*. 2010, 70(1-2), s. 111–125.
- [2] LIPSKÝ, Z. *Sledování změn v kulturní krajině*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 1999. 71 s.
- [3] BIČÍK, I., JELEČEK, L., ŠTĚPÁNEK, V. Land-Use Changes and their Social Driving Forces in Czechia in the 19th and 20th Centuries. *Land Use Policy*. 2001, 18, s. 65–73.
- [4] SÁDLO, J., POKORNÝ, P., HÁJEK, P., DRESLEROVÁ, D., CÍLEK V. *Krajina a revoluce: Významné přelomy ve vývoji kulturní krajiny českých zemí*. Malá Skála, Praha 2008. 255 s.
- [5] MŽP – *Významné krajinné prvky – rybník* [on-line]. [vid. 3. prosinec 2021]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/rybnik_definice
- [6] ČÍŽKOVÁ, H., KVĚT, J., VLASÁKOVÁ, L. *Mokřady: ekologie, ochrana a udržitelné využívání*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2017. 631 s.
- [7] KUMAR, A., KANAUIA, A. Wetlands: Significance, Threats and their Conservation. *Environ*. 2014, 7, s. 1–24.
- [8] ČÁKA, J. *Toulání po Brdech*. 3. vyd. Praha: Mladá fronta, 2011. 336 s.
- [9] DEMEK, J., MACKOVČIN, P. (eds.). *Zeměpisný lexikon – Hory a nížiny*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR; VÚKOZ, 2006. 583 s.
- [10] MĚSTO HOSTOMICE – *Přírodní park Hřebený* [on-line]. [vid. 3. prosinec 2021]. Dostupné z: <https://www.hostomice.cz/prirodni-park-hrebeny.html>
- [11] STŘEDOČESKÝ KRAJ – *Vyhodnocení krajinného rázu Středočeského kraje* [on-line]. [vid. 18. prosinec 2021]. Dostupné z: <https://www.kr-stredocesky.cz/>
- [12] ROMPORTL, D., CHUMAN, T., LIPSKÝ, Z. New Method of Landscape Typology in the Czech Republic. Landscape Classification – Theory and Practice, The Problems of Landscape. *Ecology*. 2008, 20, s. 315–320.
- [13] GEOGRAFICKÁ SEKCE PŮF UK – *Zaniklé krajiny* [on-line]. [vid. 12. říjen 2021]. Dostupné z: <http://www.zaniklekrajiny.cz/>
- [14] Geoportál ČÚŽK – *přístup k mapovým produktům a službám resortu* [on-line]. [vid. 18. prosinec 2021]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>
- [15] DAVID, P., SOUKUP, V. *Brdy známé i neznámé*. Praha: Euromedia Group, a. s., 2016.
- [16] KREJČÍ, J. *Z historie farnosti sv. Václava v Mníšku pod Brdy* [on-line]. 2012. [vid. 3. srpen 2021]. Dostupné z: <http://farnost.mnisek.cz/historie/mnisek-pod-brdy/>
- [17] Český statistický úřad – *Počet obyvatel v obcích – k 1. 1. 2021* [on-line]. [vid. 15. říjen 2021]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112021/>
- [18] Český hydrometeorologický ústav – *Atlas podnebí Česka* [on-line]. [vid. 16. říjen 2021]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/sra6190.gif>
- [19] SKALICKÝ, V. Regionálně fytogeografické členění. In: HEJNÝ, S., SLAVÍK, B. (eds.). *Květena České socialistické republiky*, 1. Praha: Academia, 1988, s. 103–121.
- [20] *Archivní mapy Ústředního archivu zeměměřictví a katastru* [on-line]. [vid. 10. říjen 2021]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/archiv/>
- [21] Geoportál ČÚŽK – *Prohlížeč služby – WMS* [on-line]. [vid. 29. září 2021]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(lcsguqwsq1my1rvbg3qy5suw\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head_tab=sekce-03-gp&menu=311](https://geoportal.cuzk.cz/(S(lcsguqwsq1my1rvbg3qy5suw))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head_tab=sekce-03-gp&menu=311)
- [22] Národní geoportál INSPIRE – *WMS služby* [on-line]. [vid. 23. listopad 2021]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/wms>
- [23] *OpenStreetMap* [on-line]. [vid. 25. listopad 2021]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org>
- [24] PLIENINGER, T. a kol. The Driving Forces of Landscape Change in Europe: A Systematic Review of the Evidence. *Landscape Research*. 2016, 35(7), s. 204–214.
- [25] PEÑA, J. a kol. Driving Forces of Land-Use Change in a Cultural Landscape of Spain. In: KOOMEN, E. a kol. (eds.). *Modelling Land-Use Change*. Dordrecht: Springer, 2007, s. 97–115.
- [26] BIČÍK, I. a kol. *Vývoj využití ploch v Česku*. Edice Geographica 3. Praha: ČGS, 2010. 250 s.
- [27] SKOKANOVÁ, H., FALTAN, V., HAVLÍČEK, M. Driving Forces of Main Landscape Change Processes from Past 200 Years in Central Europe – Differences between Old Democratic and Post-Socialist Countries. *Ekológia* (Bratislava). 2016, 35(1), s. 50–65. ISSN (on-line) 1337-947X. Dostupné z: doi: 10.1515/eko-2016-0004
- [28] RICHTER, P. Problematika interpretace archivních mapových podkladů v případě mokřadních biotopů. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2021, 63(5), s. 32–38. ISSN 0322-8916.
- [29] GIMMI, U., LACHAT, T., BÜRGI, M. Reconstructing the Collapse of Wetland Networks in the Swiss Lowlands 1850–2000. *Landscape Ecology*. 2011, 26(8), s. 1071–1083.
- [30] BRAŠNA, V. *Změny ve vývoji mokřadů v krajině – trajektorie, příčiny*. Diplomová práce. Praha: Česká zemědělská univerzita; Fakulta životního prostředí, katedra aplikované ekologie, 2016. (Nepublikováno).
- [31] SKALOŠ, J., RICHTER, P., KEKEN, Z. Changes and Trajectories of Wetlands in the Lowland Landscape of the Czech Republic. *Ecological Engineering*. 2017, 108, s. 435–445.

[32] RICHTER, P. Trajektorie vývoje mokřadů v horní části povodí Výrovky za uplynulých 180 let. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2020, 62(6), s. 20–26. ISSN 0322-8916.

[33] POLENO, Z., VACEK, S. *Teoretická východiska pěstování lesů*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, s. r. o., 2007.

[34] *Mokřady – ochrana a management* [on-line]. [vid. 12. leden 2022]. Dostupné z: <http://www.mokradys.wbs.cz>

Autoři

Ing. Pavel Richter, Ph.D.

✉ pavel_richter@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-6338-3481

Ing. Renáta Sztymonová

✉ renata.szt@seznam.cz

Řitka

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.01.003

MONITORING CHANGES IN THE LANDSCAPE DEVELOPMENT ON THE NORTHEASTERN EDGE OF THE HŘEBENY MOUNTAINS WITH A FOCUS ON WETLANDS

RICHTER, P.,¹ SZTYMONOVÁ, R.²

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

²Řitka

Keywords: archive maps – landscape changes analysis – GIS – wetlands – water in the landscape

This article deals with the changes of wetlands on the northeastern edge of the Hřebeny Mountains over the past 180 years. It assesses the dynamics of the landscape elements in space and time. The cadastral districts of Čisovice, Řitka, Kytín and Nová Ves pod Pleší were selected with a total area of 3,785.57 ha. The analysis performed on the basis of Imperial obligatory imprints of maps of the stable cadastre from 1840, orthophotomaps and field research from 2020. It categorized the water features in the examined area into continuous, extinct and new. The underlying data has been processed in ArcGIS software, version 10.7.1. The area of wetlands has decreased from 289.34 hectares in the year 1840 (7.65 % of the examined area) to 39.26 hectares in 2020 (1.04 %). Based on the study of available documents three types of wetland habitats were classified: wet meadows, wet meadows with woody plants and ponds.

POROVNÁNÍ HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTIK M -DENNÍCH PRŮTOKŮ REFERENČNÍHO OBDOBÍ 1981–2010 A UVAŽOVANÉHO REFERENČNÍHO OBDOBÍ 1991–2020

PAVEL KUKLA

Klíčová slova: hydrologie — základní hydrologická data — dlouhodobý průměrný průtok — M -denní průtoky — referenční období

ÚVOD

M -denní průtoky patří podle české státní normy ČSN 75 1400. *Hydrologické údaje povrchových vod* mezi Základní hydrologické údaje [1]. Hodnoty M -denních průtoků ve vodoměrných stanicích jsou odvozené z časových řad pozorovaných průměrných denních průtoků za definované referenční období. V současnosti se pro návrhové účely používá referenční období 1981–2010 [2]. S ukončením druhé dekády 21. století se uvažuje o změně referenčního období na roky 1991–2020. V minulosti poskytoval Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) hydrologické údaje za referenční období 1931–1940, 1931–1960 a 1931–1980.

Referenční období 1981–2010

Hydrologické charakteristiky M -denních průtoků za období 1981–2010 byly vypočteny v ČHMÚ pro vodoměrné profily po roce 2010 a v následujících letech pak došlo k odvození charakteristik M -denních průtoků pro nepozorované profily za pomoci nových matematicko-statistických nástrojů. Při zpracování dat bylo využito podstatně širší datové základny s vyhodnocenými průměrnými denními průtoky ze sítě vodoměrných stanic než v předchozím referenčním období 1931–1980. Při výpočtech bylo možné začlenit dostupné údaje o ovlivnění přirozeného průtokového režimu odběry vod, o vypouštění odpadních vod či manipulacích na vodních dílech v celém referenčním období. Při odvození byla využita tehdy nová vrstva rozvodnic základních hydrologických povodí měřítko 1 : 10 000 a další aktuální datové vrstvy GIS [3].

Srovnání vybraných hydrologických charakteristik období 1981–2010 s uvažovaným referenčním obdobím 1991–2020

Základní hydrologické údaje charakterizující odtokové poměry daného vodního toku jsou dlouhodobý průměrný průtok Q_0 a kvantily M -denních průtoků Q_{Md} . Statistickou analýzou změn hydrologických charakteristik prošlo 304 vodoměrných stanic ČHMÚ, které mají nepřerušené pozorování v období

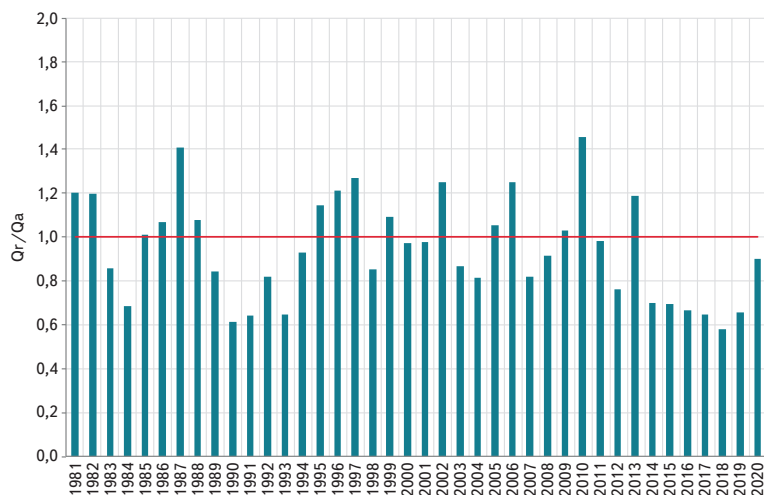
1. listopadu 1980–31. října 2020. V *tab. 1* je uvedena procentuální změna dlouhodobého průměrného průtoky a vybraných kvantilů M -denních průtoků odvozených za období 1991–2020 a za období 1981–2010 pro 35 vybraných vodoměrných stanic. Pro zvýraznění velikosti změny jednotlivých charakteristik byly buňky barevně označeny v odstínech červené (zmenšení charakteristiky v období 1991–2020 oproti období 1981–2010) a modré (zvětšení charakteristiky v období 1991–2020 oproti období 1981–2010). Na první pohled je zřejmé, že v tabulce převládají červené odstíny u všech zobrazených hydrologických charakteristik. Až na výjimky u několika antropogenně ovlivněných vodoměrných stanic došlo v období 1991–2020 převážně ke zmenšení odtokových charakteristik.

Pro porovnání vývoje vodnosti během období 1981–2020 byly vypočteny procentuální podíly každého průměrného ročního průtoky na dlouhodobém průměrném průtoky za období 1981–2010 pro 304 vodoměrných stanic. Tyto procentuální podíly byly následně zprůměrovány pro každý hydrologický rok a tato hodnota slouží jako charakteristika vyjadřující procentuální podíl odtoku daného roku na dlouhodobém průměrném průtoky (viz graf na *obr. 1*). Z grafu je patrné, že při porovnání dekád 1981–1990 a 2011–2020, kterými se liší v současnosti používané a nově uvažované referenční období, patřila většina roků z období 2011–2020 do víceletého suchého období, které započalo v roce 2014 a v některých regionech trvalo až do roku 2019. V osmdesátých letech 20. století byly výrazně podprůměrné ($< 0,8$) pouze roky 1984 a 1990, ostatní roky byly odtokově blízké dlouhodobému průměru 1981–2010 nebo byly dokonce odtokově nadprůměrné. Tato skutečnost vysvětluje záporné změny dlouhodobého průměrného průtoky u většiny vodoměrných stanic.

Velikost změny dlouhodobého průměrného průtoky vypočtená za období 1991–2020 vůči období 1981–2010 se v souboru 304 vodoměrných stanic pohybuje v rozmezí od -27% v profilu Želízy na Liběchovce do $+31\%$ ve výrazně antropogenně ovlivněném profilu VD Žermanice na Lučině. Mapa na *obr. 2* zobrazuje velikost procentuální změny dlouhodobého průměrného průtoky Q_0 ve vybraných vodoměrných stanicích v období 1991–2020 vůči období 1981–2010. Průměrná hodnota změny dlouhodobého průměrného průtoky vypočtená v souboru 304 vodoměrných stanic se rovná $-7,3\%$. Z regionálního pohledu jsou nejmenší změny velikosti dlouhodobého průměrného průtoky v povodí Malše a Odry,

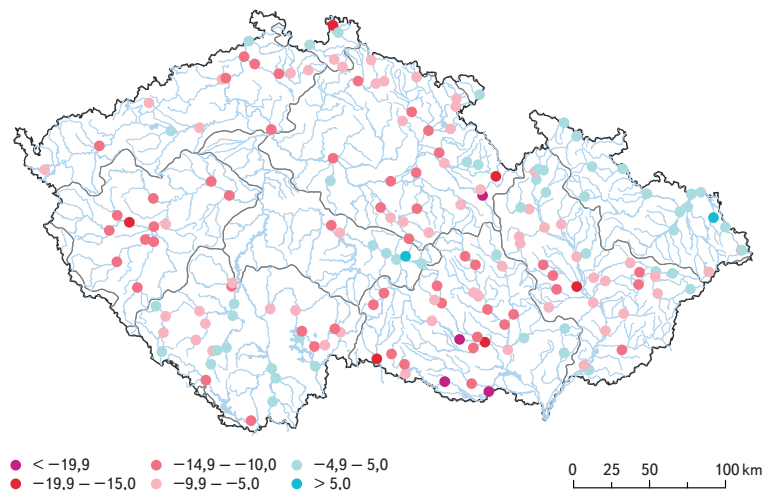
Tab. 1. Procentuální změna vybraných kvantilů M-denních průtoků odvozených za období 1991–2020 vůči období 1981–2010 ve vybraných vodoměrných stanicích
Tab. 1. Percentage change of selected quantiles of M-day discharges derived for the period 1991–2020 compared to the period 1981–2010 in selected gauging stations

Profil	Tok	Plocha povodí [km²]	Změna [%] Qa a QMd [1991–2020/1981–2010]			
			Qa	Q30d	Q180d	Q355d
Jaroměř	Labe	1 224,10	–11,2	–13,1	–10,0	–22,1
Týniště nad Orlicí	Orlice	1 554,17	–11,2	–7,7	–12,5	–21,1
Přelouč	Labe	6 437,52	–9,7	–11,5	–9,6	–20,0
Železný Brod	Jizera	791,26	–8,4	–10,9	–5,6	–15,5
Roudné	Malše	962,21	–1,6	–0,7	–3,9	–2,1
Bechyně	Lužnice	4 057,02	–4,8	–5,9	–4,0	–11,7
Písek	Otava	2 913,70	–5,5	–4,5	–8,7	–9,9
Zruč nad Sázavou	Sázava	1 420,68	–5,4	–5,3	–0,3	–12,8
Kácov	Sázava	2 814,42	–10,5	–14,1	–4,5	–13,1
Lhota	Radbuza	1 181,82	–11,1	–13,6	–8,8	–27,9
Štěnovice	Úhlava	892,84	–7,8	–10,3	–4,0	–15,2
Plzeň-Bílá Hora	Berounka	4 017,46	–12,3	–14,9	–9,2	–14,3
Beroun	Berounka	8 286,23	–9,1	–11,2	–6,3	–16,0
Karlovy Vary-Drahovice	Ohře	2 857,03	–12,1	–10,3	–13,1	–17,7
Louny	Ohře	4 979,76	–9,7	–9,1	–13,9	–19,0
Trmice	Bílina	923,17	–13,5	–8,1	–16,6	–24,6
Benešov nad Ploučnicí	Ploučnice	1 156,73	–12,6	–11,3	–12,6	–15,5
Děčín	Labe	51 120,34	–8,7	–10,5	–7,8	–10,4
Svinov	Odra	1 613,70	–0,8	–1,6	1,1	–20,3
Děhylov	Opava	2 037,55	–0,8	–4,8	0,3	10,6
Ostrava	Ostravice	820,02	–1,0	–0,7	0,3	–14,0
Bohumín	Odra	4 663,74	–1,4	–2,9	–0,7	–3,0
Věřnovice	Olše	1 075,59	–2,6	–2,6	–0,9	–10,2
Moravičany	Morava	1 561,19	–8,4	–9,3	–8,3	–14,0
Olomouc-Nové Sady	Morava	3 323,59	–7,4	–5,7	–9,0	–18,6
Dluhonice	Bečva	1 592,84	–3,5	–5,1	–1,5	–14,4
Kroměříž	Morava	7 013,27	–7,0	–6,9	–6,5	–8,0
Strážnice	Morava	9 144,83	–7,7	–8,1	–7,3	–12,1
Podhradí nad Dyjí	Dyje	1 755,48	–10,8	–8,4	–11,2	–19,2
Trávní Dvůr	Dyje	3 535,06	–10,9	–20,4	–8,5	–12,1
Veverská Bítýška	Svratka	1 479,76	–10,5	–11,7	–5,2	–11,7
Bílovice nad Svitavou	Svitava	1 119,98	–10,3	–12,2	–8,7	–3,9
Židlochovice	Svratka	3 938,12	–7,2	–9,1	–3,8	–2,9
Třebíč-Ptáčov	Jihlava	962,71	–7,8	–7,6	–5,5	–11,2
Ivančice	Jihlava	2 679,98	–11,9	–19,1	–12,9	–4,0



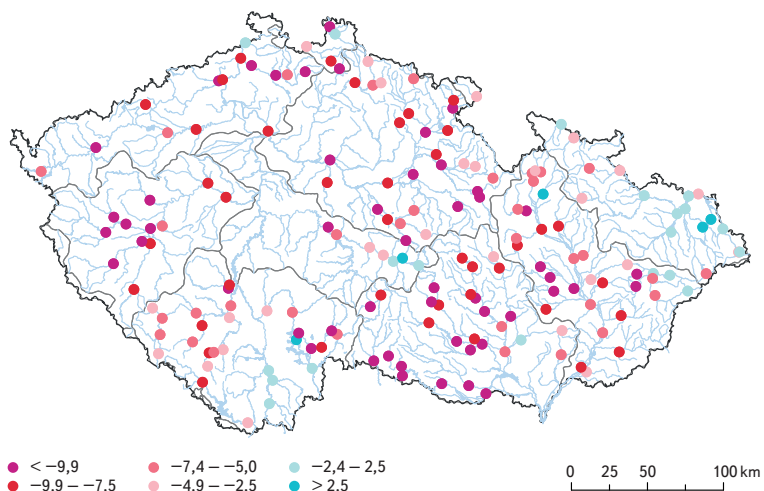
Obr. 1. Průměrné roční podíly Q_r na dlouhodobém průměrném průtoku Q_a za období 1981–2020 ve 304 vodoměrných stanicích ($Q_{a1981-2010} = 1$)

Fig. 1. Average annual shares of Q_r in the long-term mean discharge Q_a for the period 1981–2020 in 304 gauging stations ($Q_{a1981-2010} = 1$)



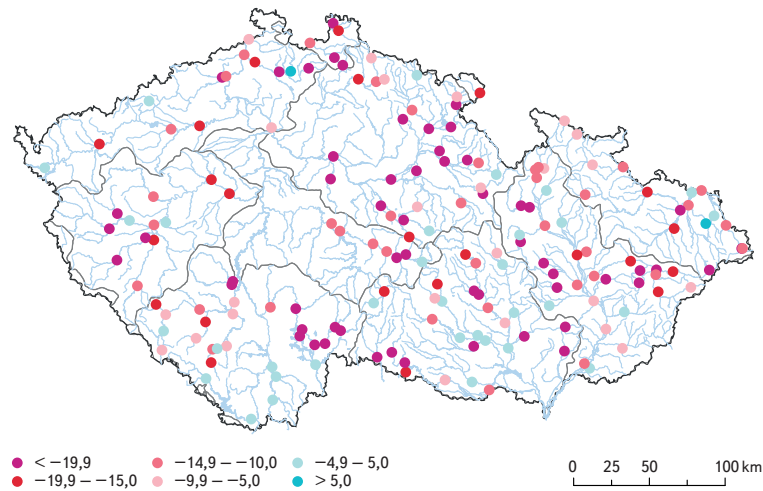
Obr. 3. Procentuální změna 30denního průtoku Q_{30d} ve vybraných vodoměrných stanicích v období 1991–2020 vůči období 1981–2010

Fig. 3. Percentage differences between Q_{30d} discharges at selected gauging stations for the periods 1991–2020 and 1981–2010



Obr. 2. Procentuální změna dlouhodobého průměrného průtoku Q_a ve vybraných vodoměrných stanicích v období 1991–2020 vůči období 1981–2010

Fig. 2. Percentage differences between long-term mean discharges Q_a at selected gauging stations for the periods 1991–2020 and 1981–2010



Obr. 4. Procentuální změna 355denního průtoku Q_{355d} ve vybraných vodoměrných stanicích v období 1991–2020 vůči období 1981–2010

Fig. 4. Percentage differences between Q_{355d} discharges at selected gauging stations for the periods 1991–2020 and 1981–2010

naopak největší poklesy byly zaznamenány u vodoměrných stanic v horní části povodí Berounky, Ploučnice, Svratky, Jihlavy a Dyje. Z celkového pohledu na mapu je zřejmé, že zmenšení dlouhodobého průměrného průtoku je takřka celoplošné.

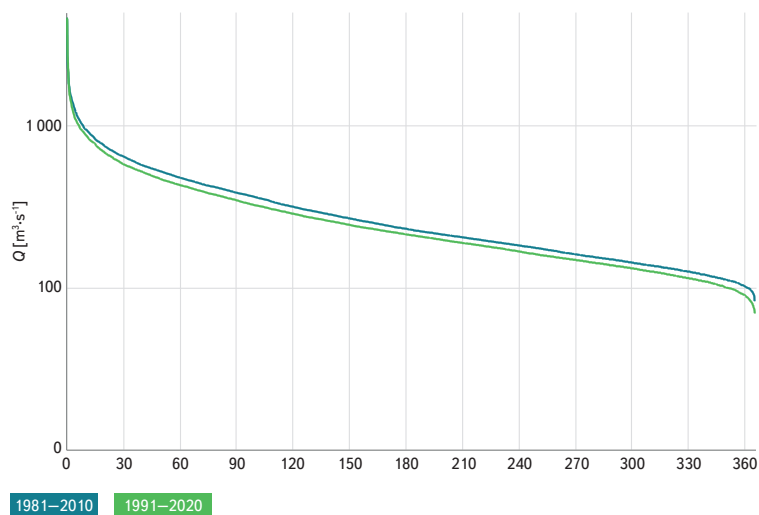
Do značné míry podobné prostorové rozložení se objevuje i u výsledků výpočtu procentuální změny 30denního průtoku Q_{30d} při porovnání této charakteristiky za období 1991–2020 vůči období 1981–2010 (viz obr. 3). Jelikož jsou nejvíce vodné roky od druhé poloviny devadesátých let 20. století až do roku 2010 společné pro obě referenční období, rozhoduje v případě velikosti změny 30denního průtoku Q_{30d} opět porovnání dekády osmdesátých let 20. století a posledního desetiletí 2011–2020. Obecně bylo období 1981–1990 vodnější než období 2011–2020, proto vychází průměrná hodnota změny 30denního průtoku Q_{30d} v souboru 304 vodoměrných stanic $-7,2\%$.

V mapě na obr. 4 je zobrazena ve vybraných vodoměrných stanicích velikost procentuální změny 355denního průtoku Q_{355d} v období 1991–2020 vůči období 1981–2010. Vzhledem k dlouhotrvajícímu hydrologickému suchu v období 2014–2019, jež pokračovalo v určitých částech republiky až do roku 2020, došlo

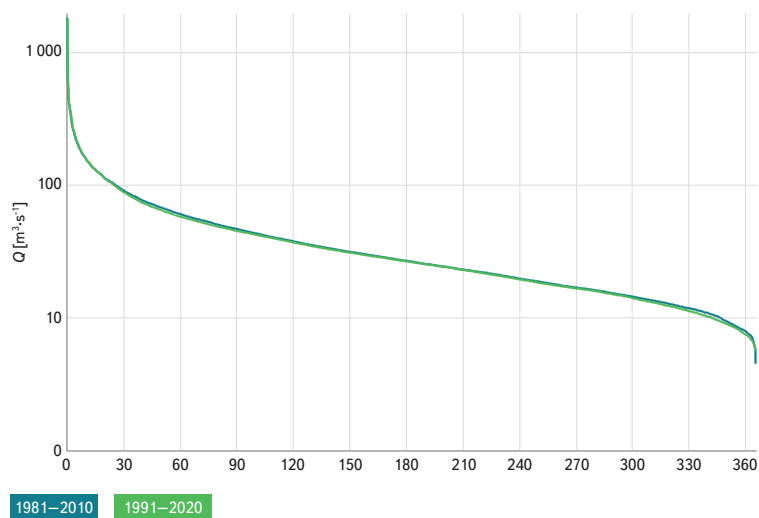
u většiny vodoměrných stanic k poklesu hodnot kvantilů minimálních průtoků. Během dlouhotrvajících bezesrážkových období v průběhu suchých let byla pozorována dlouhodobá období trvání minimálních průtoků. To způsobilo, že průměrná velikost změny 355denního průtoku Q_{355d} v souboru 304 vodoměrných stanic je $-13,4\%$.

Výše popsané změny velikosti vybraných kvantilů M -denních průtoků ovlivnily tvar křivek překročení M -denních průtoků ve vodoměrných stanicích. V grafech na obr. 5–7 jsou uvedeny čáry překročení M -denních průtoků v období 1981–2010 a v období 1991–2020 pro vybrané závěrové vodoměrné stanice. V grafu na obr. 5, který zobrazuje čáry překročení M -denních průtoků pro profil Děčín na Labi, je patrné, že v celém průběhu čáry překročení došlo k poklesu vodnosti. Čára překročení za období 1991–2020 kopíruje čáru za období 1981–2010. Tvar čáry překročení v profilu Děčín je ovlivněn manipulacemi na vodních dílech, největší vliv na tvar čáry překročení mají vodní nádrže Vltavské kaskády.

V grafu na obr. 6 jsou zobrazeny čáry překročení M -denních průtoků pro profil vodoměrné stanice Bohumín na Odře. Z obrázku je patrné, že čára překročení za



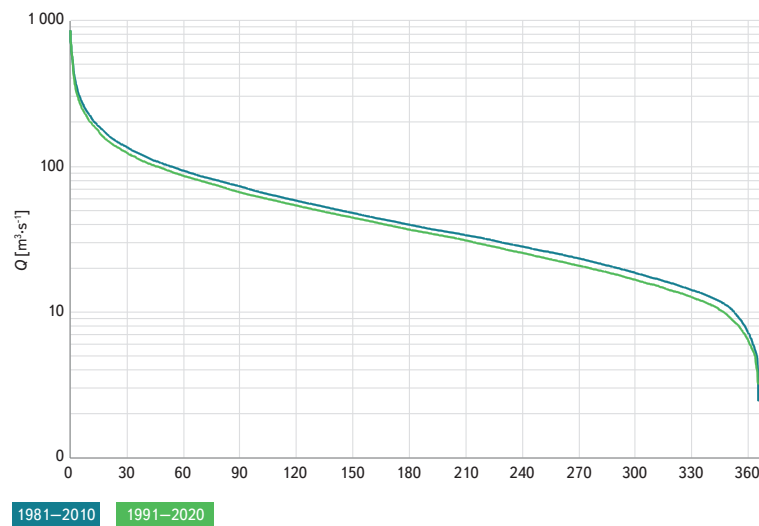
Obr. 5. Čáry překročení M -denních průtoků v období 1981–2010 a v období 1991–2020 v profilu vodoměrné stanice Děčín na Labi
Fig. 5. Flow duration curves at the Děčín gauging station on the Labe River for the periods 1981–2010 and 1991–2020



Obr. 6. Čáry překročení M -denních průtoků v období 1981–2010 a v období 1991–2020 v profilu vodoměrné stanice Bohumín na Odře
Fig. 6. Flow duration curves at the Bohumín gauging station on the Odra River for the periods 1981–2010 and 1991–2020

období 1991–2020 má téměř shodný tvar s čarou překročení 1981–2010. Důvodem je skutečnost, že povodí Odry bylo během suchého období 2014–2020 nejméně zasaženo suchem a zároveň na přítocích Odry jsou velké vodní nádrže, které mohou manipulacemi nadlejšovat průtoky v tocích pod vodními díly.

Graf na obr. 7 zobrazuje čáry překročení M -denních průtoků pro profil vodoměrné stanice Strážnice na Moravě. Povodí Moravy a jejích přítoků bylo výrazně zasaženo suchem. Hodnota 30denního průtoků Q_{30d} poklesla ve Strážnici v období 1991–2020 o 8,1 % a 355denní průtok se zmenšil o 12,1 %.



Obr. 7. Čáry překročení M -denních průtoků v období 1981–2010 a v období 1991–2020 v profilu vodoměrné stanice Strážnice na Moravě
Fig. 7. Flow duration curves at the Strážnice gauging station on the Morava River for the periods 1981–2010 and 1991–2020

ZÁVĚR

Z výsledků porovnání M -denních průtoků referenčního období 1981–2010 a uvažovaného referenčního období 1991–2020 vyplývá, že u většiny vodoměrných stanic došlo ke zmenšení kvantilů M -denních průtoků. V souboru 304 vodoměrných stanic dosahuje průměrná změna dlouhodobého průměrného průtoků Q_0 hodnoty $-7,3$ % a průměrná změna 355denního průtoků Q_{355d} činí $-13,4$ %. Změna referenčního období hydrologických charakteristik se provádí z toho důvodu, aby hydrologické údaje odvozené za referenční období co nejlépe vystihovaly aktuální hydrologický režim.

Literatura

- [1] ČSN 75 1400:2014. *Hydrologické údaje povrchových vod*. Česká technická norma. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.
- [2] ŠERCL, P., KUKLA, P. Porovnání základních hydrologických údajů za referenční období 1931–1980 a 1981–2010. *Hydrologická ročenka České republiky* 2014. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2015.
- [3] BUDÍK, L., ŠERCL, P., KUKLA, P., LETT, P., PECHA, M. Odvození základních hydrologických údajů za referenční období 1981–2010. In: *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*, 65. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2018.

Autor

RNDr. Pavel Kukla
✉ pavel.kukla@chmi.cz

Český hydrometeorologický ústav, Praha

COMPARISON OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF M -DAY DISCHARGES IN REFERENCE PERIOD 1981–2010 AND CONSIDERED REFERENCE PERIOD 1991–2020

KUKLA, P.

Czech Hydrometeorological Institute, Prague

Keywords: hydrology — basic hydrological data — long-term mean discharge — M -day discharges — reference period

This article deals with hydrological characteristics of long-term mean discharge Q_a and M -day discharges and their comparison between reference period 1981–2010 and potentially considered new reference period 1991–2020.

According to the Czech technical standard ČSN 75 1400. *Hydrological data of surface waters*, the long-term mean discharge Q_a and M -day discharges belong to the Basic hydrological data. Q_a and M -day discharges at gauging stations are derived from time series of mean daily discharges. These values are set for a defined reference period. The reference period 1981–2010 is currently used for design purposes.

There are 304 gauging stations of the Czech Hydrometeorological Institute that have uninterrupted measurements in period 1 November 1980–31 October 2020. Due to hydrological drought in the period 2014–2019, which continued in certain parts of the country until 2020, most of the gauging stations report decrease of M -day discharges.

Most of the gauging stations show a decrease of M -day discharge quantiles for considered period 1991–2020 compared to period 1981–2010. Of the 304 stations, the average change in the long-term mean discharge Q_a reaches -7.3% and the average change in the 355-day discharge Q_{355d} is -13.4% .

Selected flow duration curves prove that several-year drought period in recent years caused decrease of M -day discharge quantiles at all parts of the flow duration curve that represent period 1991–2020.

Hydrological characteristics should accurately describe current hydrological regime. That is why the reference period gets updated when the characteristics change.



Foto: shutterstock.com

Autoři VTEI

doc. Ing. Michaela Danáčová, PhD.

STU v Bratislave, Stavebná fakulta

✉ michaela.danacova@stuba.sk
www.svf.stuba.sk



Doc. Ing. Michaela Danáčová, PhD., pracuje na katedre Vodného hospodárstva krajiny, Stavebnej fakulte STU v Bratislave. Inžinierske štúdium ukončila v študijnom programe Vodné hospodárstvo a vodné stavby na Stavebnej fakulte STU, kde jej bol udelený aj titul Philosophiae doctor v odbore Hydrológia. Špecializuje sa na hydrologické modelovanie povodní v korytách tokov, analýzu kolísania v radoch hydrologických veličín, ako aj na oblasť eróznno-transportných procesov v krajine. Participuje na viacerých výskumných projektoch a úlohách.

Ing. Taťána Halešová

ALS Czech Republic s.r.o., Project Section supervizor

✉ tatana.halesova@alsglobal.com
<https://www.alsglobal.cz/vyzkumne-projekty-v-als>



V roce 2006 absolvovala Fakultu chemickou Vysokého učení technického v Brně, obor Potravinářská chemie a biotechnologie. V letech 2006–2009 pracovala na Státní rostlinolékařské správě v Brně, na oddělení analytické laboratoře postregistrační kontroly přípravků na ochranu rostlin (POR). Od roku 2009 pracuje v ALS Czech Republic s. r. o., kde se dlouhodobě věnuje monitoringu především pesticidních látek v různých složkách životního prostředí (voda, půda, biota). V roce 2014 bylo pod jejím vedením založeno samostatné Projektové oddělení, prostřednictvím něhož ALS Czech Republic mimo jiné participuje na grantových projektech, vypisovaných různými subjekty ze státní i soukromé sféry. Od roku 2018 je členem Asociace pro vodu CzWA a. s. odborné skupiny Vodárenství, která se také zabývá pesticidy, léčivy a dalšími mikropolutanty. V rámci spolupráce se podílela na několika projektech, např., LIFE2Water „Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod“, TA ČR TH03030118 „Metody dekontaminace a detekce perzistentních chloracetanilidových pesticidů a jejich metabolitů, které jsou legislativně sledované“, TA ČR TH03030178 „Nové metody hodnocení rizik přípravků na ochranu rostlin vůči necílovým půdním organismům. Hodnocení rizik zatížení půdního prostředí xenobiotiky na diverzitu“.

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ ladislav.kasperek@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., v oboru hydrologie působil od roku 1968 v Českém hydrometeorologickém ústavu. Zaměřoval se zejména na vývoj metod hodnocení hydrologických jevů, včetně těch extrémních, a na vývoj hydrologických bilančních modelů. Od roku 1987 pracuje ve VÚV TGM, v. v. i. V posledních letech se zabýval hodnocením probíhajícího oteplování na hydrologický režim povrchových i podzemních vod a zpracováním hydrologických dat pro projekty, které budou realizovány v podmínkách měnícího se klimatu v příštích desetiletích.

RNDr. Pavel Kukla

Český hydrometeorologický ústav, Praha

✉ pavel.kukla@chmi.cz
www.chmi.cz



RNDr. Pavel Kukla absolvoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy v Praze v oboru Fyzická geografie a geoekologie. Od roku 2009 pracuje v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) v Oddělení povrchových vod jako hydrolog. Hlavní pracovní náplň tvoří odvození základních hydrologických údajů (*M*-denních průtoků) a dalších hydrologických charakteristik povrchových vod. V rámci své práce je také zapojen do řešení grantových projektů, je členem řešitelského týmu grantového projektu PERUN (Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku) a je řešitelem dílčího cíle „Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace ČHMÚ“ zabývající se odvozením *M*-denních průtoků za referenční období 1991–2020.

Ing. Pavel Richter, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ pavel.richter@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Pavel Richter, Ph.D., je zaměstnancem Odboru ochrany vod a informatiky ve VÚV TGM, v. v. i., od roku 2007. V roce 2008 dokončil v magisterském studijním programu Krajinné inženýrství studijní obor Regionální environmentální správa na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. V roce 2015 pak tamtéž úspěšně ukončil v doktorském studijním programu Environmentální vědy studijní obor Aplikovaná a krajinná ekologie. Zaměřuje se na problematiku zadržování vody v krajině a na vývoj krajiny na základě interpretace archivních mapových podkladů, zejména na krajinné změny v oblasti mokřadů, vodních ploch a vodních toků včetně jejich niv. V rámci provozu Hydroekologického informačního systému se zabývá především evidencemi ISVS-VODA a evidencemi správního členění, chráněných území, vodních toků, vodních ploch a hydrologických povodí.

RNDr. Hana Zvěřinová Mlejnková, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ hana.mlejnkova@vuv.cz
www.vuv.cz



RNDr. Hana Zvěřinová Mlejnková, Ph.D., vystudovala Přírodovědeckou fakultu Masarykovy univerzity v Brně (dříve Universita J. E. Purkyně), obor Obecná biologie, specializace Mikrobiologie. Od roku 1992 byla zaměstnána ve VÚV TGM, v. v. i., v Brně v Oddělení hydrobiologie. V roce 2016 se přesunula na pražské pracoviště VÚV TGM, v. v. i., kde působila v Oddělení ochrany jakosti vod a od roku 2018 pak v Odboru analýz a hodnocení složek životního prostředí jako vedoucí Oddělení mikrobiologie vody a hydrobiologie. Výzkumná činnost je zaměřena na řešení projektů v oblastech týkajících se hodnocení jakosti vod, mikrobiologie a hydrobiologie. V rámci pracovních aktivit se dále věnuje expertní činnosti v Česko-rakouské komisi pro hraniční vody, konzultační, posudkové a pedagogické činnosti. Je autorkou a spoluautorkou řady publikací v mezinárodních i tuzemských odborných časopisech, několika monografií, certifikovaných metodik a specializovaných map. V současné době se věnuje problematice využití odpadních vod jako diagnostického média pro monitoring epidemiologických situací.

Rozhovor s Ing. Bc. Annou Hubáčkovou, ministryní životního prostředí

Paní ministryně, hned na začátku mám na vás otázku. Jaká byla Anna Hubáčková jako malá holka? Samé jedničky, pilná žačka, nebo odřená kolena a občas nějaká ta poznámka?

To je otázka na tělo. Takže – samé jedničky, pilná žačka a občas nějaká lum-párníčka a odřené koleno.

Po gymnáziu jste nastoupila na Fakultu stavební Vysokého učení technického v Brně, kde jste si vybrala obor vodní hospodářství. Proč zrovna stavařinu a vodu?

To byla velká náhoda. Původně jsem se hlásila na ČVUT v Praze – obor ekonomika staveb (už přesně nevím název). Sice jsem byla přijata, ale současně mi nabídli přestup na jiný obor, aby mohl být na tento obor přijat vlivnější student. Bylo mi to sděleno v době, když už jsem byla na tzv. studentské letní aktivitě. Tam jsem potkala bezva partu studentů – všichni z oboru vodních staveb. No, a bylo rozhodnuto. Když jiný obor, tak voda a na VUT v Brně.

Vášim prvním zaměstnáním, pokud se nepletu, byla pozice ve společnosti Vodovody a kanalizace Hodonín, kde jste měla na starosti ochranu vodních zdrojů. Pamatujete si na svůj první projekt z té doby?

Můj první projekt byl současně mojí diplomovou prací. Šlo o zásobení jihovýchodní oblasti okresu Hodonín pitnou vodou. Konzultanta mi dělal tehdejší náměstek Vodovodů a kanalizací Ing. Stanislav Košacký. Po mém nástupu na VaK Hodonín bylo pro mě nádherné zjištění, že se můj projekt nedává do šuplíku, že se použil a podle něj se vlastně celý vodovod i postavil a funguje.

Mým prvním projektem už jako vodohospodáře VaK Hodonín byl návrh pásem ochrany vodního zdroje. V tuto chvíli si už přesně nepamatuji, který to byl, ale postupně jsem dělala všechny a moc mě to bavilo.

Vaše zaměření vás potom dovedlo ke kariéře úředníka. Nejdřív na pozici vedoucí referátu životního prostředí na Okresním úřadě v Hodoníně a potom nadlouho jako vedoucí odboru životního prostředí Krajského úřadu Jihomoravského kraje. Co vás přimělo k rozhodnutí opustit „techniku“ a přejít na „úřednickou“ dráhu?

Ochrana vodních zdrojů byl ten největší motiv. Měla jsem hotové návrhy na ochranná pásma a to vyhlásování se mi jevilo jako zbytečně dlouhý proces. Neustále jsem atakovala tehdejšího vedoucího odboru, až mi nabídl místo. Tak jsem si to tam šla povyhlášovat! A byla to další krásná práce s lidmi a také první velké zkušenosti s přesvědčováním o nezbytnosti chovat se k vodě lépe, chránit si její kvalitu atd.

Pak jste přestoupila na Krajský úřad Jihomoravského kraje, kde jste prožila spoustu let. Co jsem sám osobně dokázal zachytit, nikdo vám neřekl jinak než „naše Anička“. :-) Bral jsem to jako výmluvný důkaz vaší oblíbenosti, což je na úředníka až nevídané. Úřad jste však nečekaně rychle opustila. Dá se k tomu s odstupem času něco říct?

Ráda na práci s kolegy v Jihomoravském kraji vzpomínám. Hodně se nám toho podařilo. Až na závěrečné měsíce mého působení, které jsem už raději zapomněla. Přišli někteří další krajští politici s jinými představami o ochraně

životního prostředí, do nichž můj styl komunikace a práce nezapadl. Odešla jsem ze dne na den, ale kdykoli se i po letech vracím na Jihomoravský kraj, jsem vítána. Na rozdíl od nich.



Pozitivní vnímání vaší osobnosti ze strany veřejnosti se projevilo i vašim jednoznačným vítězstvím v senátních volbách v roce 2016. Jaké pocity ve vás převládaly?

Byly to nepředstavitelně silné pozitivní emoce, velká radost a možná i trochu pocit zadostiučinění.

Ovšem pak také velká odpovědnost.

Během své profesní kariéry jste řešila mnoho zajímavých a neobvyklých případů. Na který z nich vzpomínáte nejvíce – ať už v dobrém, nebo zlém?

V oblasti životního prostředí zažijete skutečně mnoho jedinečných případů či událostí. Nejvíce se vám vryjí do paměti ne ty krásné a úspěšné, ale většinou ty krizové. Povodně, havárie, dopady sucha, kalamity kůrovcové, komáří, sinicové a jiné. Ale i u katastrof zažijete krásné okamžiky. Do Podhradí, kde lidé zažili dvě povodně za jeden rok, jsme jeli vysvětlovat, proč se to stalo. Bylo to samozřejmě velmi citlivé, vždyť lidi byli krátce po sobě dvakrát vyplaveni. Většina občanů si to s námi přirozeně hodně ostře vyříkávala, ale přišli i manželé, jimž vlastně povodeň a společně prožité trauma zachránilo manželství a rodinu.

Nyní jste ministryně životního prostředí. Kdyby vám někdo před patnácti lety řekl, že jednou budete řídit celý resort životního prostředí, co byste na to řekla?

Hodně bych se smála. Nikdy jsem si nepřipustila, že bych se mohla stát starostkou nebo senátorkou, a ministryně už vůbec ne. Jsou to velké náhody, příležitosti a výzvy a já je prostě zvedám.

Coby ministryně životního prostředí za Českou republiku vedete jednání s polskou stranou ve věci dlouholetého sporu mezi Českou republikou a Polskem o dopadech těžby v hnědouhelném dole Turów. To je hned na začátek v pozici ministryně nelehký úkol. Dá se tato kauza srovnat s něčím, co jste zažila a řešila v minulosti?

Toto je kauza s mezinárodním dopadem a takových jsem moc nezažila. Jihomoravský kraj sousedí se dvěma státy, se Slovenskem a Rakouskem, takže u společných řešení některých problémů, nejčastěji jednání o manipulacích na řece Moravě a Dyji v průběhu povodní, jsem samozřejmě byla a právě tyto zkušenosti se mi moc hodily při jednání v Polsku k činnosti dolu Turów. Je to vždy o vyvažování našich oprávněných zájmů, našeho práva a současně o respektování mezinárodního práva a práva jiné země. Nebývá to jednoduché, ani když společně děláte hezké projekty, třeba na ochranu krajiny, natož když se řeší škody či újmy.

**Téma trvale udržitelného rozvoje se u nás skloňuje už třicet let, od dob federálního ministra životního prostředí Josefa Vavrouška. Mnoho řado-
vých občanů však může mít pocit, že se v této věci neudělalo dost.**

Lidi, jako byl Josef Vavroušek, je kolem nás hodně a mně se zdá, že čím dál víc. Všechny si moc vážím, hlavně těch mladých. Ano, stále je před námi mnoho úkolů, ale klimatická změna výrazně pomáhá měnit také naše myšlení a já pevně věřím, že i změny v naší krajině a našem životním prostředí budou rychlejší.

Před časem jsme v našem časopise zpovídali pana Pavla Fošumpauera (zástupce vedoucího katedry hydrotechniky Fakulty stavební ČVÚT – pozn. redakce), a to na téma „vývoj vzdělávání v oboru vodního hospodářství“. Zeptám se tedy i vás. Jak vidíte současný stav vzdělávání a přála byste si jakožto ministryně životního prostředí docílit toho, aby praktická ekologie byla trvale součástí osnov na základních a středních školách?

Rozhodně ano. Budu se snažit ve spolupráci s ministerstvem školství dostat ekologii i do rámcových školních programů základních škol. Co se v mládí naučíš, ve stáří jako když najdeš – to platí a platit bude. Ekologické osvěty a vzdělávání se budeme na našem ministerstvu více věnovat.

Jednou z vašich avizovaných priorit je ochrana pitné vody. Co přesně to ve vašem podání znamená? Co byste v pozici ministryně životního prostředí v tomto směru upravila/změnila?

V podání ministryně to znamená předložit legislativu, která bude vodu více chránit – už nyní pracuji na předložení návrhu novely ústavy v tomto duchu. A pak také připravit dotační tituly, které povedou k posílení návratu vody do krajiny, k ochraně její kvality, zadržení vody v krajině, podpoře budování nových zdrojů vody, čištění odpadních vod... atd. A samozřejmě je třeba se velmi soustředit na osvětu a zapojit do ní i celé ministerstvo.

Nedá mi to dát vám na závěr jednu otázku na odlehčení. Máte krásné české křestní jméno Anna, s nímž je spojeno mnoho rčení a pranostik, především „Svatá Anna, chladna zrána“. Věříte – jako absolventka dvou vysokých škol – na tyto tradice a moudra našich předků?

Naši předci se k přírodě chovali mnohem lépe než my, lépe ji znali a jejich odkazům v podobě pranostik a tradic velmi věřím a ctím je.

Vršovická ulice, kde sídlí Ministerstvo životního prostředí, je lemována sakurami, které na jaře krásně kvetou. Přeji vám, abyste se z pohledu na tu rozkvetlou ulici mohla těšit co nejčastěji. Děkuji za rozhovor.

Ing. Josef Nistler

Ing. Bc. Anna Hubáčková



Ing. Bc. Anna Hubáčková se narodila v Hodoníně. Je absolventkou oboru vodní hospodářství na Vysokém učení technickém v Brně a oboru veřejná správa na Právnické fakultě Masarykovy univerzity. Pracovala ve společnosti Vodovody a kanalizace Hodonín, kde měla na starosti ochranu vodních zdrojů, později působila jako vedoucí referátu životního prostředí na Okresním úřadě v Hodoníně a vedoucí odboru životního prostředí Krajského úřadu Jihomoravského kraje. Za svou činnost a spolupráci s nevládními organizacemi obdržela v roce 2005 Cenu ministra životního prostředí. Ve své funkci byla také členkou krizových štábů, podílejících se na řešení krizových situací, i předsedkyní povodňových komisí. V letech 2014–2018 zastávala funkci starostky obce Ratíškovice a od roku 2016 je senátorkou za Hodonínsko. V roce 2020 byla zvolena zastupitelkou Jihomoravského kraje a působila jako předsedkyně Komise životního prostředí a zemědělství. Je vdaná, má dva dospělé syny a tři vnoučata.

Bilanční hodnocení vybraných ukazatelů kvality vody na přítocích do vodní nádrže Vranov

Většina vodních nádrží v České republice je budována jako multifunkční, přičemž k základním funkcím patří ta zásobní a ochranná. Způsob využívání povodí nad vodní nádrží má významný vliv na jakost vody. Zdroje znečištění lze rozdělit na bodové, plošné a difúzní. Bodové znečištění je kontinuální nebo se periodicky opakuje, není výrazně ovlivněno meteorologickými faktory a je vázáno na úzce ohraničené území, jako jsou sídla, čistírny odpadních vod (ČOV), průmyslové závody, zemědělské objekty aj. Plošné znečištění je těžko sledovatelné, je nepravidelné a závisí na meteorologických, půdních, morfologických a porostních charakteristikách [4]. Do kategorie difúzních zdrojů jsou obvykle zahrnovány drobné rozptýlené bodové zdroje znečištění, a to komunální, zemědělské, průmyslové, znečištění z dopravy, výluhy ze skládek atd.

Rada vodních nádrží se v současnosti potýká s problémem eutrofizace. Ta je chápána jako proces komplexních změn přírodních vod zapříčiněný obohacováním živinami. Dochází tím k rozvoji vodních květů sinic, jež produkují toxiny. V eutrofizovaných vodách nahromaděná biomasa kolabuje a současně klesá koncentrace kyslíku ve vodě, což následně vede k úhynu ryb. Problematickými živinami z hlediska eutrofizace vod je fosfor a dusík, přičemž u většiny povrchových vod v České republice převažuje fosfor. V současnosti pochází cca 70 % aktivního fosforu z bodových zdrojů (především komunálních), u dusíku je to pouze 20 % [2]. V dnešní době má na znečištění fosforem menší vliv spotřeba minerálních hnojiv i aplikace hnojiv statkových. Lze říci, že za posledních 25 let kleslo množství vstupu fosforu na zemědělskou půdu, rizikem však zůstávají odpadní vody z ČOV [2].

Aktuální problém v souvislosti se znečišťováním povrchových vod představují také specifické polutanty – pesticidy, farmaka, mikroplasty a prostředky osobní hygieny. K jejich degradaci ve vodách často nedochází, naopak mají negativní vliv na vodní organismy. Specifickými polutanty jsou zatěžovány rovněž vody pitné [1].

VODNÍ DÍLO VRANOV

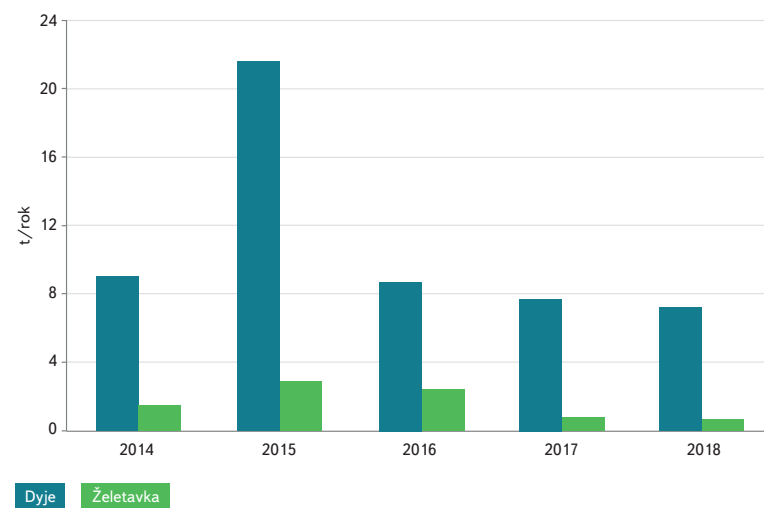
Vodní dílo Vranov na řece Dyji bylo uvedeno do provozu v roce 1934. Hydrologické povodí nádrže má rozlohu 2 211,8 km², přičemž téměř polovina se nachází v Rakousku. V České republice má povodí rozlohu 1 159 km² a zasahuje do čtyř okresů a tří krajů. Z hlediska land use tvoří 60,2 % zemědělský půdní fond, 31 % lesní půdní fond, vodní plochy včetně vlastní zátopy 2,5 %, zastavěné plochy 0,9 % a ostatní pozemky 5,4 % z celkové plochy povodí [6].

Toto významné vodní dílo je víceúčelové, a často tu proto dochází ke střetům zájmů. K jeho hlavním funkcím patří protipovodňová ochrana, výroba elektrické energie, rekreace, sportovní rybolov, plavba a také zásobování pitnou vodou, což nebylo od počátku její primární funkcí, neboť vodárenský odběr zde byl vybudován až v roce 1982. Jímací objekt je lokalizován na plovoucím pontonu 3,9 km od hráze. Kloubní spojení pontonu se břehem umožňuje kopírovat pohyb hladiny v nádrži, čímž lze využívat optimální hloubky pro odběr surové vody (obr. 6). Odebraná surová voda je následně čistěna na úpravně vody Štítary s kapacitou 200 l/s. Skupinový vodovod vedoucí z úpravně vody Štítary v současné době zásobuje pitnou vodou více než 80 tisíc obyvatel v přílehlém regionu jižní Moravy a Vysočiny. Správcem vodní nádrže je Povodí Moravy, s. p., vlastníkem odběrného zařízení surové vody je Svazek obcí Vodovody a kanalizace se sídlem v Třebíči, provozovatelem skupinového vodovodu včetně vodárenského odběru a úpravně vody je VAS, a. s. [7].

Bilanční hodnocení vybraných ukazatelů jakosti vody za období 2014–2018 bylo provedeno pro Dyji a její největší přítok Želetavku (profily Dyje Podhradí a Želetavka). Hodnoceny byly tyto parametry: amoniakální dusík, dusičnanový dusík, ortofosforečnany, celkový fosfor a vybrané pesticidy a jejich metabolity – terbuthylazin, metolachlor ESA, metazachlor ESA, metazachlor OA. Data o koncentracích vybraných ukazatelů jakosti vod byla poskytnuta Povodím Moravy, s. p., a hodnoty průtoků za dané období poskytl Český hydrometeorologický ústav. Pro sledované ukazatele byly vypočítány roční průměrné koncentrace, jež byly porovnány s limity dle Nařízení vlády 401/2015 Sb., v platném znění. Z denních průtoků byly vypočítány průměrné roční průtoky na Dyji a Želetavce. Z průměrných ročních průtoků a koncentrací byly následně vyjádřeny bilance pro sledované ukazatele jakosti vod za období 2014–2018.

VÝSLEDKY

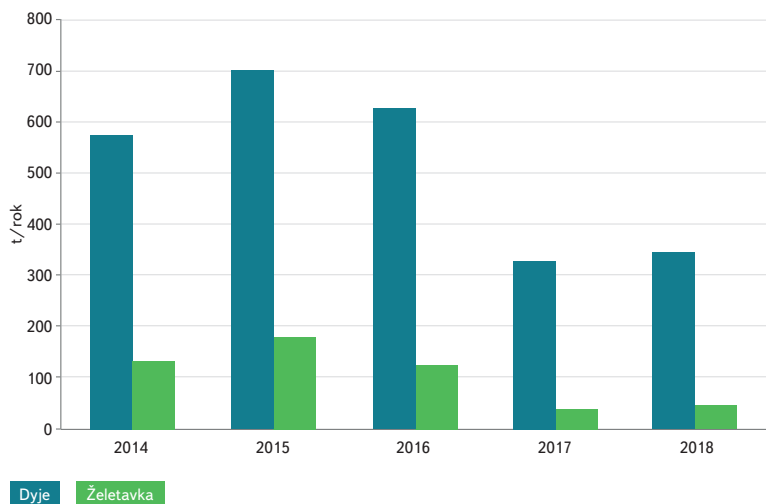
Limit průměrné roční koncentrace amoniakálního dusíku je dle Nařízení vlády 401/2015 Sb., 0,23 mg/l. Tento limit nebyl dosažen ani překročen v žádném roce na Dyji ani na Želetavce. Nejvyšší zjištěné koncentrace se pohybovaly do 0,12 mg/l. Výraznější rozdíl v koncentracích mezi Dyjí a Želetavkou byl zjištěn jen v roce 2016, kdy na Želetavce byla průměrná roční koncentrace téměř dvojnásobná. V ostatních letech výrazné rozdíly mezi oběma vodními toky nebyly. Bilanční hodnocení pro amoniakální dusík je uvedeno na obr. 1. Z výsledků vyplývá, že profilem Dyje Podhradí přiteče do vodní nádrže Vranov výrazně více amoniakálního dusíku než Želetavkou, což je dáno výrazně vyššími průtoky na Dyji.



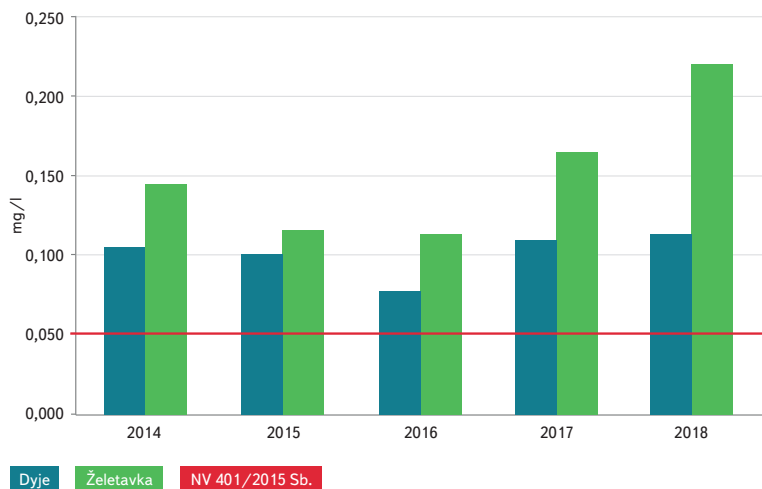
Obr. 1. Bilance amoniakálního dusíku za období 2014–2018

Průměrná roční koncentrace dusičnanového dusíku byla vždy vyšší na Želetavce než na Dyji. Limitní hodnota 5,4 mg/l byla ve sledovaném období překročena pouze jednou, a to v roce 2016, kdy průměrná roční koncentrace na Želetavce činila téměř 6 mg/l (obr. 2).

Problematickým ukazatelem jakosti vody se jeví fosfor. U koupacích a vodárensky využívaných vod je dle Nařízení vlády 401/2015 Sb., limitní průměrná roční koncentrace celkového fosforu 0,05 mg/l. Z grafu na obr. 3 vyplývá, že tento



Obr. 2. Bilance dusičnanového dusíku za období 2014–2018

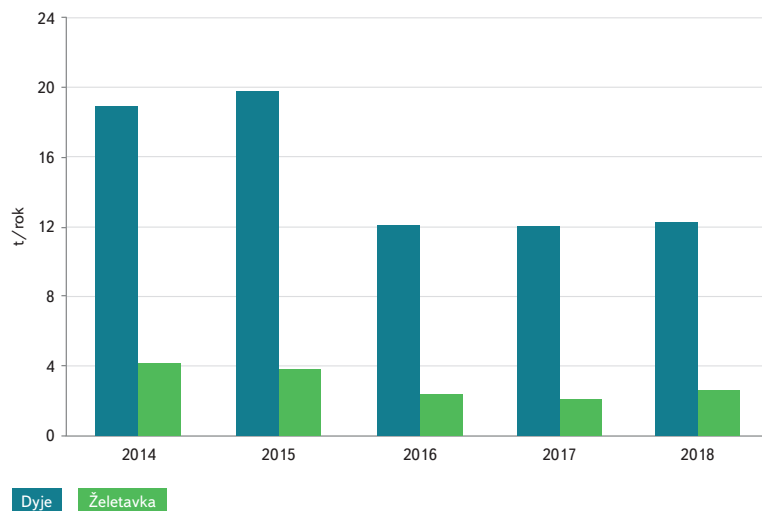


Obr. 3. Průměrná koncentrace Pcelk (měsíční perioda měření) s limitem vyznačeným dle Nařízení vlády 401/2015 Sb.

limit byl výrazně překročen u obou vodních toků během celého sledovaného období, vyšší koncentrace byly vždy na Želetavce. Voda v Dyji je naředována čistší vodou z Rakouska. Ke sledovaným ukazatelům patří i ortofosforečnany. Pro ně však legislativa limitní hodnoty neuvádí, ačkoli je to důležitý ukazatel v souvislosti s eutrofizací (využitelný zdroj fosforu pro řasy a sinice). U celkového fosforu i ortofosforečnanů byly vždy koncentrace vyšší na Želetavce, v suchých letech 2017 a 2018 téměř dvojnásobně.

Z následujícího grafu na obr. 4 vyplývá, kolik tun celkového fosforu přiteklo do nádrže Dyjí a Želetavkou za sledované období. Obr. 3 a 4 odkazují na problém sucha v letech 2017 a 2018. I přes vysokou průměrnou roční koncentraci v těchto letech (obr. 3) nepřiteklo v důsledku nižších průtoků do nádrže tolik tun celkového fosforu jako v letech předchozích (obr. 4). Vliv sucha se výrazně projevilo i u amoniakálního a dusičnanového dusíku (obr. 1 a 2).

Koncentrace vybraných pesticidů a jejich metabolitů nebyly sledovány pravidelně. Limity dle Nařízení vlády 401/2015 Sb., průměrné roční koncentrace terbutylazinu, metolachloru ESA, metazachloru ESA a metazachloru OA na profilu Dyje Podhradí nebyly překročeny, na profilu Želetavka byla limitní hodnota překročena pouze v roce 2018 u metazachloru ESA. Co se týká bilance sledovaných polutantů, nejvíce dat bylo k dispozici u terbutylazinu a metolachloru ESA. Za sledované období 2014–2018 se dostalo do nádrže Dyjí 5–10 kg/rok terbutylazinu, u Želetavky 1–4 kg/rok. Celé sledované období byl na Dyji monitorován



Obr. 4. Bilance Pcelk za období 2014–2018

rovněž metolachlor ESA – zde se bilance pohybovala od 5 do 12 kg/rok. Na Želetavce byl metolachlor ESA sledován jen v letech 2016 a 2018, bilance činila 3 kg/rok, resp. 1 kg/rok.

V roce 2017 přiteklo Dyjí 24 kg metazachloru ESA, v roce 2018 to bylo 32 kg Dyjí a 6 kg Želetavkou. V roce 2017 šlo o 5 kg metazachloru OA (Dyji), v roce 2018 to bylo 6 kg Dyjí a 2 kg Želetavkou.

Z výsledků vyplývá, že mezi problematické ukazatele jakosti vody patří především výskyt pesticidů a celkový fosfor, který způsobuje nadměrnou eutrofizaci nádrže (obr. 5). Hlavním zdrojem pesticidů je zemědělské hospodaření v povodí nad nádrží.

Dle výše uvedených výsledků se bilanční hodnoty Pcelk za období 2014–2018 pohybují na Dyji od 12 do 20 t/rok s průměrnou roční koncentrací 0,110 mg/l a u Želetavky od 2 do 4 t/rok s průměrnou roční koncentrací 0,1514 mg/l. Hanák [3] se věnuje letům 2009–2013 a uvádí, že Dyje průměrně za rok přinese do nádrže 30,6 t Pcelk s průměrnou roční koncentrací 0,110 mg/l, Želetavka 5,3 t Pcelk s průměrnou roční koncentrací 0,135 mg/l. V období 2014–2018 je podíl fosforu nižší, což může být způsobeno především nižšími průtoky než v předchozích letech. Hanák rovněž uvádí, že plošné zdroje znečištění (zemědělská půda) nejsou významným zdrojem fosforu v povodí vodního díla Vranov. Znečišťovateli jsou bodové zdroje – ze 79 %, oproti plošným – 21 %. V povodí nenajdeme intenzivní chovné rybníky a ani průmysl nemá zásadní vliv na jakost vody. Hlavním zdrojem fosforu jsou tu odpadní vody. V povodí vodního díla Vranov se nachází 27 ČOV, na většině z nich však chybí srážení fosforu [3].

V širším okolí nádrže je téměř 5 000 objektů sloužících k rekreaci, v bezprostředním okolí zátopy téměř 1 000, splašková kanalizace se však nachází jenom na Vranovské a Bítovské nádrži. Některé objekty bez napojení na kanalizaci nejsou dostupné pro fekální vůz. V důsledku likvidace odpadních vod jsou součástí režimu hospodaření v ochranných pásmech vodních zdrojů podrobné postupy a princip preventivní ochrany vodního zdroje v případě, že majitel stavby má zájem o její opravu, rekonstrukci, rozšíření apod.

V souvislosti s rekreací je dalším rizikem pro jakost vody manipulace s ropnými látkami, jež neprobíhá jen u dopravních prostředků na příjezdových a polních cestách, ale i přímo na hladině nádrže v rámci veřejné i soukromé lodní dopravy. Zároveň jde také o motorové pily, sekačky, elektrocentrály atd., jichž je, opět s ohledem na rozvinutou rekreaci a na počet užívaných objektů, velké množství, čímž se stává toto riziko – v mnoha jiných případech marginální – významným.



Obr. 5. Vodní květ v Bítovské zátocy



Obr. 6. Jímací objekt na plovoucím pontonu

ZÁVĚR

Opatření ke snižování koncentrace fosforu musejí být založena na odkanalizování neodkanalizovaných obcí, na rekonstrukci stávajících netěsnících kanalizačních systémů a jímek, návrhu nových ČOV nebo modernizaci současných (doplněných o srážení fosforu). Je však třeba zdůraznit, že všechny stávající ČOV splňují pro Pcelk stanovené limity o vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Tato skutečnost je dána mírnou legislativou, která nestanovuje limity Pcelk pro všechny velikosti komunálních ČOV, ale pouze pro ty s více než 2 000 EO (ekvivalentními obyvateli).

Problematika výskytu pesticidů a jejich metabolitů není problém jenom u vodní nádrže Vranov, jejich nálezy lze doložit např. i v podzemních zdrojích nebo vodárenských nádržích [5].

Vodárenský odběr (obr. 6) z víceúčelové nádrže Vranov je perspektivní a nenahraditelný, současně však jde o jediný případ takového rozsahu „víceúčelovosti“ na území České republiky, proto je třeba přizpůsobit ochranu vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti tohoto zdroje jeho unikátnosti.

Poděkování

Autoři děkují státnímu podniku Povodí Moravy za poskytnutí dat.

Literatura

- [1] DURAS, J., POTUŽÁK, J., VAŠEK, P. VN Karhov – Co na nás chystají acidifikované nádrže? In: *Vodárenská biologie*. Chrudim: Vodní zdroje EKOMONITOR, s. r. o., 2010, s. 127. ISBN 978-80-86832-48-7.
- [2] FIALA, D. Boj o fosfor. *Vodní hospodářství*. 2016, 66(5), s. 1–4. ISSN 1211-0760.
- [3] HANÁK, R. Studie zlepšení jakosti vod ve VD Vranov: *Průvodní zpráva*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2014.
- [4] KVÍTEK, T. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika. Praha: Povodí Vltavy, s. p., 2017. ISBN 978-80-270-2488-9.
- [5] LIŠKA, M., FUČÍK, P., DOBIÁŠ, J., WILDOVÁ, P., KOŽELUH, M., VÁLEK, J., SOUKUPOVÁ, K., Zajíček, A. Problematika výskytu pesticidů v povrchových vodách. In: OPPELTOVÁ, P. *Problematika znečišťování a ochrany vodních zdrojů v souvislosti se zemědělstvím*. Brno: Mendelova univerzita, 2018, s. 52–60. ISBN 978-80-7509-604-3.
- [6] NOVÁK, J., OPPELTOVÁ, P. Příprava dokumentace pro změnu ochranných pásem vodního zdroje povrchové vody Vranov. In: *Pitná voda: Zborník prednášok z XIV. konferencie s medzinárodnou účasťou*. Bratislava: VodaTím, 2015, s. 171–176. ISBN 978-80-971272-3-7.
- [7] NOVÁK, J., OPPELTOVÁ, P. Optimalizace ochranných pásem vodního zdroje Vranov ve smyslu platných právních předpisů a praktických zkušeností. *Slovak: Časopis oboru vodovodů a kanalizací*. 2014, 23(12), s. 22–25. ISSN 1210-3039.

Autoři

Ing. Petra Oppeltová, Ph.D.¹

✉ oppeltova@mendelu.cz

ORCID: 0000-0001-6875-9919

Ing. Ondřej Ulrich^{1,2}

✉ ondrej.ulrich@centrum.cz, xulrich@mendelu.cz

ORCID: 0000-0003-2562-3071

Jana Svobodová Navrátilová¹

✉ jani.svobo@gmail.com

¹Ústav aplikované a krajinné ekologie, Mendelova univerzita v Brně

²Oddělení vodohospodářských projektů, ENVIPARTNER, s. r. o., Brno-Štýřice



Projekt AdaptaN II aneb od slov k činům

V posledních několika letech jsme zažívali – nebojme se použít to slovo – smršť různých adaptačních strategií, akčních plánů a jiných dokumentů, které popisují co dělat, abychom se připravili na rozličné nástrahy, především na dopady klimatické změny. Je tedy na čase začít naplňovat záměry výše uvedených dokumentů a uvádět je v život.



K naplnění jednoho takového dokumentu – Adaptační strategie Moravskoslezského kraje na dopady změny klimatu – chce přispět i projekt „Integrované přístupy adaptace krajiny Moravskoslezského kraje na změnu klimatu“ (označovaný zkratkou AdaptaN II), jehož řešení bylo zahájeno v červenci roku 2021 a potrvá do 30. dubna 2024. Tento mezinárodní projekt je financován z programové výzvy Norské fondy „Bergen“ – podpora na implementaci vybraných přírodně blízkých adaptačních a mitigačních opatření (zprostředkovatel programu je Státní fond životního prostředí České republiky).

Vedoucím řešitelským pracovištěm je Fakulta stavební Vysokého učení technického v Brně. Na projektu se dále podílí Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, ARVEN – Akademie rozvoje venkova, z. s., a dva zahraniční partneři: Norský institut pro bioekonomický výzkum a Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.



V souladu s Národním akčním plánem adaptace na změnu klimatu (NAP ČR) reaguje řešení projektu na požadavky adaptace území v souvislosti s negativními dopady všech projevů změny klimatu v oblasti mírného pásma – tedy extrémních meteorologických jevů (vydatných srážek, extrémního větru, extrémních teplot), dlouhodobého sucha a povodní (včetně přívalových). Cílem projektu je podpořit implementaci vybraných přírodně blízkých adaptačních a mitigačních opatření na území Moravskoslezského kraje.

Řešení a výstupy projektu jsou směřovány do volné krajiny nebo příměstských zón, tj. řeší primárně integrované přístupy adaptace v nezastavitelném území nebo také v interakci s urbanizovanými plochami – zastavěným územím (statutární město Ostrava a Opava). Zvláštní místo v projektu bude věnováno urbanizované a důlní činnosti dotčené oblasti Pohornické krajiny (mezi městy Havířov, Karviná a Orlová). Na této lokalitě, v minulosti silně ovlivněné těžbou uhlí, jsou dnes poslední činné doly, které čeká uzavření.

Projekt popíše a vzorově vypracuje implementační proces adaptace pro volnou krajinu Moravskoslezského kraje. Orgány státní správy a samosprávy v kraji, správci vodních toků, lesnické a zemědělské podniky, nezisková sféra i zainteresovaná veřejnost získají detailní popis postupu implementace, přehled o možných adaptačních opatřeních, vzory monitoringu a výpočty efektů, stejně jako formou územních studií přesnou identifikaci zranitelnosti svého území pro zacílení následných adaptačních opatření. Dále budou realizovány příklady dobré praxe a vzorové demonstrace opatření snižujících negativní dopady změny klimatu. Na pilotním území v katastru obce Lichnov bude zavedena soustava záchytných průlehů a stabilizace dráhy soustředěného odtoku s doplněním liniové doprovodné zeleně jako interakčních prvků plnicích ochranné funkce s alternativním využitím pro posílení biodiverzitních funkcí navazujících na územní systém ekologické stability. Dále budou realizovány mokřady a tůně v pilotním území Lichnov a Větrkovice.



Projekt AdaptaN II navazuje na předchozí, úspěšně ukončený projekt „AdaptaN I – Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině“ (č. EHP-CZ02-OV-1-039-2015), který byl řešen v časovém období 2015–2016 a byl podpořen z mechanismu EHP a Norských fondů (více na <https://www.adaptan.net/>).

Autoři

Mgr. Pavla Štěpánková, Ph.D.

✉ pavla.stepankova@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-2079-9078

Ing. Karel Drbal, Ph.D.

✉ karel.drbal@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5595-2493

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Brno

VTEI/2022/2

Od roku 1959

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE WATER MANAGEMENT TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství.
Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

Ročník 64



VTEI.cz

Vydává: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Redakční rada:

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Ing. Michaela Danáčová, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur,
doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D., Mgr. Róbert Chriateľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D.,
Ing. Jiří Kučera, Ing. Martin Pavel, Ing. Jana Poárová, Ph.D., Mgr. Hana Sezimová, Ph.D.,
Dr. Ing. Antonín Tůma, Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

Vědecká rada:

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.,
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., RNDr. Petr Kubala, Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.,
Ing. Michael Trnka, CSc., Dr. rer. nat. Slavomír Vosíka

Šéfredaktor:

Ing. Josef Nistler (josef.nistler@vuv.cz)

Odborné redaktorky:

Mgr. Zuzana Řehořová (zuzana.rehorova@vuv.cz)
Mgr. Hana Beránková (web) (hana.berankova@vuv.cz)

Zdroje fotografií tohoto čísla:

VÚV, Shutterstock.com, 123RF.com

Grafická úprava, sazba, tisk:

ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 700 ks

Časopis VTEI vychází od roku 2022 v anglické mutaci,
která je k dispozici na <https://www.vtei.cz/en/>

Příští číslo časopisu vyjde v červnu.

Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na www.vtei.cz

ISSN 0322-8916

ISSN 1805-6555 (on-line)

MK ČR E 6365



PÍSKOVCE ČARUJÍ

Suchá Bělá je typický malý vodní tok Labských pískovců. Teče v obdobích hojných na vodu, v létě vysychá. Je to dáno pískovcovým podložím, které značnou část vody Suché Bělé dokáže vsáknout. Říčka pramení v mokřinách Jelení louže poblíž hranice se Saskem. U obce Hřensko se vlévá do řeky Kamenice a s ní vzápětí do Labe.

Text a fotografii dodal Václav Sojka, www.vaclavsojka.cz.

**VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T.G. MASARYKA**

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz